

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Dean Deković

Zagreb, 2017

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Izv. prof. dr. sc. Mario Štorga, dipl. ing.

Student:

Dean Deković

Zagreb, 2017.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se dr. sc. Anti Bakiću, dipl.ing. te dr.sc. Danijelu Rohdeu, dipl.ing. na pomoći i korisnim savjetima prilikom izrade rada, kolegama Bruni Dogančiću, Matiji Hoiću i Goranu Kišu na savjetima te svojim roditeljima, Martinu, Ivoru i Ani na potpori.

Dean Deković



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Dean Deković**

Mat. br.: **0035184042**

Naslov rada na
hrvatskom jeziku:

**UREĐAJ ZA INSTALIRANJE ISPITNOG MANIPULATORA U
HORIZONTALNI PAROGENERATOR**

Naslov rada na
engleskom jeziku:

**DEVICE FOR INSTALLATION OF THE INSPECTION
MANIPULATOR IN THE HORIZONTAL STEAM GENERATOR**

Opis zadatka:

Forerunner manipulator tvrtke INETEC koristi se za automatsko nerazorno ispitivanje cijevi parogeneratora u nuklearnim elektranama. Zbog zone visokog zračenja koja vlada u području oko, a posebno unutar parogeneratora, boravak osoblja je strogo ograničen i kontroliran. Stoga je potrebno konstruirati uređaj za instaliranje manipulatora na cijevnoj stijeni parogeneratora kroz servisni otvor. Prilikom konstrukcijske razrade posebnu pažnju potrebno je posvetiti robusnosti i pouzdanosti uređaja, te zaštititi korisnika od zračenja u skladu s ALARA preporukom (*eng. As Low As Reasonably Achievable*).

U radu je potrebno:

- Analizom problema definirati zahtjeve i izraditi tehničku specifikaciju uređaja.
- Metodičkom razradom obuhvatiti različita konceptualna rješenja uređaja.
- Tehno-ekonomskom analizom odabrati projektno rješenje.
- Odabrano projektno rješenje uređaja konstrukcijski razraditi uz uporabu standardnih sklopova, te s potrebnim proračunima nestandardnih dijelova. Pri konstrukcijskoj razradi paziti na tehnologično oblikovanje dijelova, te zaštititi korisnika od zračenja pri korištenju uređaja.
- Izraditi računalni 3D model i tehničku dokumentaciju uređaja potrebnu za izradu prototipa.

Opseg konstrukcijske razrade, modeliranja i izrade tehničke dokumentacije dogovoriti tijekom izrade rada.

U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

17. studenog 2016.

Rok predaje rada:

19. siječnja 2017.

Predviđeni datumi obrane:

25., 26. i 27. siječnja 2017.

Zadatak zadao:

Izv. prof. dr. sc. Mario Štorga

Predsjednica Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	V
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE	VI
POPIS OZNAKA	VII
SAŽETAK.....	VIII
SUMMARY	IX
1. UVOD.....	10
1.1. Što je nuklearna energija?	10
1.2. Nuklearne elektrane (NE)	10
1.2.1. Pretpostavke za nuklearnu reakciju u NE	10
1.2.2. Nuklearne elektrane u svijetu.....	11
1.2.3. Sustavi u nuklearnim elektranama	11
1.2.4. Reaktor	12
1.2.5. Parna turbina	14
1.2.6. Generator.....	14
1.2.7. Sustav za hlađenje PWR reaktora	15
1.2.8. Sigurnosni sustav	16
2. Parogenerator – opis načina rada i konstrukcije	17
2.1. Opis načina rada parogeneratora.....	17
2.2. Opis konstrukcije parogeneratora	18
3. INETEC Forerunner	20
4. Postojeća rješenja za ispitivanje cijevi parogeneratora	21
4.1. Zetec SM-23A.....	21
4.2. Areva RANGER	22
4.3. B&W NE/Intech Spyder	22
4.4. KAERI Korea.....	24
4.5. Zaključak analize tržišta.....	26
5. Pretraživanje patenata.....	27
5.1. Patent US4212583 - 1990.	27
5.2. Patent US4303368A - 1981.	28
5.3. Patent US4561816A - 1985.	30
5.4. Patent US4919194A - 1990.	31
5.5. Patent US4945979A - 1980.	32
5.6. Patent US5265667A - 1993.	34
5.7. Patent US5178820A - 1993.	35
5.8. Zaključak pretrage patenata	37
6. Razvoj uređaja za instaliranje ispitnog manipulatora u horizontalni parogenerator	38
6.1. Tehnički upitnik za definiranje ciljeva razvoja proizvoda [29]	38

6.2.	Definicija cilja [29]	39
6.3.	Lista za definiranje tehničke specifikacije [29]	40
6.4.	Generiranje koncepata.....	41
6.4.1.	Funkcijska dekompozicija.....	41
6.4.2.	Morfološka matrica [30]	42
6.4.2.1.	Nosiva konstrukcija	42
6.4.2.2.	Sustav za prihvata.....	44
6.4.2.3.	Sustav dobave	47
6.4.2.4.	Sustav pozicioniranja	50
6.4.3.	Sustav za prihvata - 7 koncepata.....	55
6.4.3.1.	Koncept 1	55
6.4.3.2.	Koncept 2	55
6.4.3.3.	Koncept 3	56
6.4.3.4.	Koncept 4	56
6.4.3.5.	Koncept 5	56
6.4.3.6.	Koncept 6	57
6.4.3.7.	Koncept 7	57
6.4.4.	Sustav za pozicioniranje - 5 koncepata	58
6.4.4.1.	Koncept 1	58
6.4.4.2.	Koncept 2	58
6.4.4.3.	Koncept 3	59
6.4.4.4.	Koncept 4	59
6.4.4.5.	Koncept 5	60
6.4.5.	Sustav dobave - 6 koncepata	60
6.4.5.1.	Koncept 1	60
6.4.5.2.	Koncept 2	61
6.4.5.3.	Koncept 3	61
6.4.5.4.	Koncept 4	62
6.4.5.5.	Koncept 5	62
6.4.5.6.	Koncept 6	63
6.5.	Evaluacija i ocjenjivanje koncepata pomoću Pughove metode [28].....	63
6.5.1.	Sustav prihvata.....	64
6.5.2.	Sustav pozicioniranja	64
6.5.3.	Sustav dobave	65
6.6.	Odabir koncepata za daljnji razvoj.....	66
6.6.1.	Opis odabranog koncepta.....	66
6.7.	Proračun	68
6.7.1.	Aluminijski nosač	69
6.7.2.	Okretni ležaj kuke	71
6.7.3.	Svornjak kuke	74
7.	Opis konstrukcije i procesa instalacije	76
7.1.	Osješčani prikazi modela (renderi).....	79
8.	ZAKLJUČAK.....	81
	LITERATURA.....	82
	PRILOZI.....	84

POPIS SLIKA

Slika 1.	Nuklearna elektrana s rashladnim tornjevima i reaktorskom zgradom	10
Slika 2.	Reaktor i primarni krug hlađenja	11
Slika 3.	Sklop gorivih ćelija(lijevo) i kontrolne šipke	12
Slika 4.	Sklop gorivih ćelija(lijevo) i kontrolne šipke	13
Slika 5.	Presjek VVER - 1000 reaktora	13
Slika 6.	Presjek višestupanjske parne turbine	14
Slika 7.	Sklop turbina - generator	15
Slika 8.	Shema reaktora s vodom pod visokim tlakom - PWR Pressurized water reactor.	15
Slika 9.	Shema parogeneratorskog i kretanja fluida unutar parogeneratorskog	17
Slika 10.	Fotografija parogeneratorskog na transportnom sredstvu	18
Slika 11.	Fotografija snopa U cijevi	19
Slika 12.	INETEC Forerunner manipulator na postolju	20
Slika 13.	Manipulator Zetec SM 23 A	21
Slika 14.	Areva Ranger u radnom položaju (lijevo) te tijekom instalacije (desno)	22
Slika 15.	Detalj robotske ruke sustava Spyder	23
Slika 16.	Načini prihvata sustava Spyder na priрубnice	24
Slika 17.	Načini prihvata sustava Spyder na cijevnu stjenku	24
Slika 18.	CAD shema KAERI sustava	25
Slika 19.	3D CAD modeli spoja sustava na priрубnicu te mobilnog robota	25
Slika 20.	Nosiva konstrukcija patenta US4212583	27
Slika 21.	Detalj prihvata na cijevnu stjenku patenta US4212583	28
Slika 22.	Shema patenta US4303368A	28
Slika 23.	Detalj prihvata patenta US4303368A na priрубnicu parogeneratorskog	29
Slika 24.	Detalj oslonca patenta US4303368A na unutrašnju stjenku parogeneratorskog	29
Slika 25.	Konstrukcija US4561816A u položaju uvlačenja u parogenerator	30
Slika 26.	Shema sklopa zglobnih članaka patenta US4561816A	31
Slika 27.	Početni koraci postavljanja patenta US4919194A	32
Slika 28.	Radni položaji patenta US4919194A	32
Slika 29.	Radni položaj patenta US4945979A	33
Slika 30.	Detalj škarastog mehanizma i spremnika čepova patenta US4945979A	33
Slika 31.	Radni položaj patenta US5265667A	34
Slika 32.	Okretni nosač patenta US5265667A	35
Slika 33.	Okretni zglob sa harmonijskim prijenosnikom patenta US5265667A	35
Slika 34.	Proces ubacivanja robotske ruke patenta US5178820A	36
Slika 35.	Vodilica za instalaciju robotske ruke (lijevo) te alat za instalaciju	36
Slika 36.	Black box model glavne funkcije uređaja	42
Slika 37.	Koncept 1 sustava prihvata	55
Slika 38.	Koncept 2 sustava prihvata	55
Slika 39.	Koncept 3 sustava prihvata	56
Slika 40.	Koncept 4 sustava prihvata	56
Slika 41.	Koncept 5 sustava prihvata	56
Slika 42.	Koncept 6 sustava prihvata	57
Slika 43.	Koncept 7 sustava prihvata	57
Slika 44.	Koncept 1 sustava za pozicioniranje	58
Slika 45.	Koncept 2 sustava za pozicioniranje	58
Slika 46.	Koncept 3 sustava za pozicioniranje	59
Slika 47.	Koncept 4 sustava za pozicioniranje	59
Slika 48.	Koncept 5 sustava za pozicioniranje	60

Slika 49.	Koncept 1 sustava dobave	60
Slika 50.	Koncept 2 sustava dobave	61
Slika 51.	Koncept 3 sustava dobave	61
Slika 52.	Koncept 4 sustava dobave	62
Slika 53.	Koncept 5 sustava dobave	62
Slika 54.	Koncept 6 sustava dobave	63
Slika 55.	Način prihvata Forerunnera na odabrani koncept	66
Slika 56.	Sklop za rotaciju glavne osi i oslanjanje pomoću kliznog vozička	67
Slika 57.	Sklop za rotaciju Forerunnera prema stjenci	67
Slika 58.	Presjek parogeneratora i trasa vođenja Forerunnera u tlocrtu	68
Slika 59.	Izometrija presjeka parogeneratora	68
Slika 60.	Normalan pogled na os profila	69
Slika 61.	Shema za proračun aluminijskog nosača	69
Slika 62.	Shema za proračun sile u cilindru za rotaciju glavne	71
Slika 63.	Dijelovi sklopa cilindra za zakretanje gornje osi	71
Slika 64.	Tehničke specifikacije cilindra za rotaciju gornje osi	71
Slika 65.	Tehničke specifikacije cilindra za rotaciju gornje osi	72
Slika 66.	Shema za proračun sila i momenata na okretni ležaj i osovinu	73
Slika 67.	Odabrani okretni ležaj INA FAG XV30	73
Slika 68.	Pregled proračuna i specifikacije okretnog ležaja	73
Slika 69.	Shema za proračun svornjaka glavne osi [35]	74
Slika 70.	Uređaj za instalaciju spojen na parogenerator	76
Slika 71.	Forerunner spojen na uređaj za instalaciju	76
Slika 72.	Prolazak kroz otvor parogeneratora	77
Slika 73.	Pogled na otvor parogeneratora	77
Slika 74.	Rotacija Forerunnera prema stjenci	78
Slika 75.	Nastavak vožnje prema stjenci	78
Slika 76.	Pogled operatera na krajnji položaj instalacije	79
Slika 77.	Pozicija Forerunnera za vožnju - render	79
Slika 78.	Pozicija Forerunnera za vožnju - render 2	79
Slika 79.	Nacrt sustava prihvata i pozicioniranja - render	80
Slika 80.	Presjek parogeneratora s Forerunnerom spremnim za instalaciju	80

POPIS TABLICA

Tablica 1. Definicija cilja uređaja	39
Tablica 2. Tehnička specifikacija uređaja	40
Tablica 3. Morfološka matrica nosive konstrukcije	42
Tablica 4. Morfološka matrica sustava za prihvata.....	44
Tablica 5. Morfološka matrica sustava dobave	47
Tablica 6. Morfološka matrica sustava pozicioniranja.....	50
Tablica 7. Evaluacija koncepata sustava prihvata	64
Tablica 8. Evaluacija koncepata sustava pozicioniranja	64
Tablica 9. Evaluacija koncepata sustava dobave.....	65

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

BROJ CRTEŽA	DD-DR-00-00-00
	DD-DR-00-00-02
	DD-DR-00-00-03
	DD-DR-00-00-04
	DD-DR-00-00-05

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
$R_{p0.2}$	N/mm ²	Granica proporcionalnosti materijala
E	N/mm ²	Youngov modul elastičnosti
W_t	mm ³	Torzijski moment otpora
W_y	mm ³	Moment otpora savijanja poprečnog presjeka
I	mm ⁴	Moment tromosti poprečnog presjeka
l	mm	Duljina nosača
l_{max}	mm	Maksimalni krak momenta torzije oko osi X
w	mm	Maksimalni progib nosača
σ_y	N/mm ²	Svojno naprezanje
M_y	Nm	Moment oko osi Y
M_x	Nm	Moment oko osi X
G	N	Težina Forerunnera
τ_{max}	N/mm ²	Smično naprezanje
x	mm	Koordinata u x smjeru
σ_{red}	N/mm ²	Reducirano naprezanje
σ_{dop}	N/mm ²	Dopušteno naprezanje
l_G	mm	Krak težine Forerunnera
l_K	mm	Krak sile u cilindru
F_K	N	Sila u cilindru
F_S	N	Sila u osloncu rotacije Forerunnera
x	mm	Krak momenta oko osi Y
y	mm	Krak momenta oko osi X
M_x	Nm	Moment oko osi X
M_y	Nm	Moment oko osi Y
M	Nm	Vektorski zbroj momenata
d	mm	Promjer svornjaka
t	mm	Debljina lima
A	mm ²	Površina poprečnog presjeka
τ_{dop}	N/mm ²	Dopušteno smično naprezanje
p_{dop}	N/mm ²	Dopušteni površinski pritisak
τ_s	N/mm ²	Smično naprezanje u svornjaku
σ_g	N/mm ²	Svojno naprezanje u svornjaku
$M_{g\ max}$	Nm	Maksimalni moment savijanja u svornjaku
p_V	N/mm ²	Površinski pritisak na vilicu
p_P	N/mm ²	Površinski pritisak na polugu

SAŽETAK

Cilj ovog rada je koncipiranje i konstruiranje prototipa uređaja za instaliranje Forerunner manipulatora tvrtke INETEC, na vertikalnu cijevnu stjenku parogeneratora. Na samom početku, ukratko je opisana pojava nuklearne reakcije te uvjeti za njezino iskorištavanje u nuklearnim elektranama. Nadalje su opisani podsustavi nuklearne elektrane te ključni dijelovi neophodni za održavanje nuklearne reakcije. U nastavku je opisan način rada i konstrukcija parogeneratora kao okoline sustava u kojem će se nalaziti uređaj koji je predmet ovog diplomskog rada. Analizom patenata i postojećih rješenja na tržištu dobiven je uvid u nekadašnje i trenutno stanje tehnike, na području instalacije objekata u parogenerator sa svrhom nerazornog ispitivanja cijevi. Razvoj uređaja započeo je izradom tehničkog upitnika i utvrđivanjem definicije cilja razvoja. Nakon toga utvrđene su tehničke specifikacije uređaja te je kreirana funkcijska dekompozicija uređaja. Rješenja pojedinih funkcija, uz pomoć morfološke matrice, poslužila su stvaranju koncepta. Uređaj je podijeljen na 3 podsustava, a za svaki su kreirani zasebni koncepti. Nakon evaluacije, odabrani koncepti su uklopljeni u konačno rješenje koje je poslužilo kao osnova za konstrukcijsku razradu. Proračunom su provjerene kritične točke uređaja, poglavito kritična mjesta nosive konstrukcije, te su odabrane standardne komponente. 3D računalni model i tehnička dokumentacija izrađeni su pomoću programskog paketa *Autodesk Inventor 2016*.

Ključne riječi: manipulator, uređaj za instalaciju, parogenerator, razvoj proizvoda

SUMMARY

The main goal of this thesis is the product development of an installation device for INETEC's Forerunner mobile robot on a steam generator tube sheet. First, the nuclear reaction and its use in nuclear power plants are briefly described. To continue, nuclear plant key systems vital for maintaining the nuclear reaction inside the plant are described. Following that up, steam generator design and work schematics are explained as an operating environment for the device being developed in this thesis. An overview of Forerunner specifications is given. Market and patent research give insights into past and current state of the art in the field of installation devices in steam generators. The development begins by establishing product specifications and development goals. A functional decomposition is made by listing all the product sub functions and connecting them with flows of energy, material and information. Technical solutions for each sub function are listed in a morphology and combined into individual concepts. Several concepts were generated for each of the device's sub-systems. By evaluating the concepts, the most appropriate were chosen to form the final solution. This final solution served as a basis for further development. Further development included stress calculations in critical points of the support structure and selection of standard components. 3D CAD model and following technical drawings and documentation were made with the help of *Autodesk Inventor 2016* CAD program.

Key words: manipulator, installation device, steam generator, product development

1. UVOD

1.1. Što je nuklearna energija?

Nuklearna energija je energija pohranjena u atomskim jezgrama. Jezgra atoma sastoji se od protona i neutrona međusobno vezanih jakim i slabim nuklearnim silama. Nuklearnim reakcijama dolazi do promjene stanja atomske jezgre te promjene broja ili vrsta čestica u atomskoj jezgri. Ovisno o vrsti nuklearne reakcije, promjenom stanja jezgre dolazi do otpuštanja velike količine topline i zračenja. Dvije najpoznatije nuklearne lančane reakcije su fisija i fuzija. Fisija je nuklearna reakcija gdje se jezgra atoma dijeli na manje dijelove (lakše jezgre). Fuzija je nuklearna reakcija gdje se od dvije ili više jezgri stvara jednu ili više novih atomskih jezgri. Rezultat fisijske reakcije je otpuštanje topline, zračenja i subatomske čestice neutrona i/ili protona. Obje reakcije koriste se za postizanje razornog učinka nuklearnog oružja.

1.2. Nuklearne elektrane (NE)

1.2.1. Pretpostavke za nuklearnu reakciju u NE

Spontana kontinuirana nuklearna fisija nije uobičajena u prirodi. Da bi se uran mogao koristiti kao nuklearno gorivo, potrebno je određeni uzorak urana/uranovog oksida prvo obogatiti radioaktivnim uranovim izotopom U-235 sa 0.7% do oko 3%.



Slika 1. Nuklearna elektrana s rashladnim tornjevima i reaktorskom zgradom

Nuklearne elektrane su energetska postrojenja u kojima se pod kontroliranim uvjetima u reaktoru vrši nuklearna fisija. Jednostavnije rečeno, sudar neutrona i jezgre uranova izotopa U-235 uzrokuje ispuštanje toplinske energije, gama zračenja i novih neutrona [1]. Osim uranovih

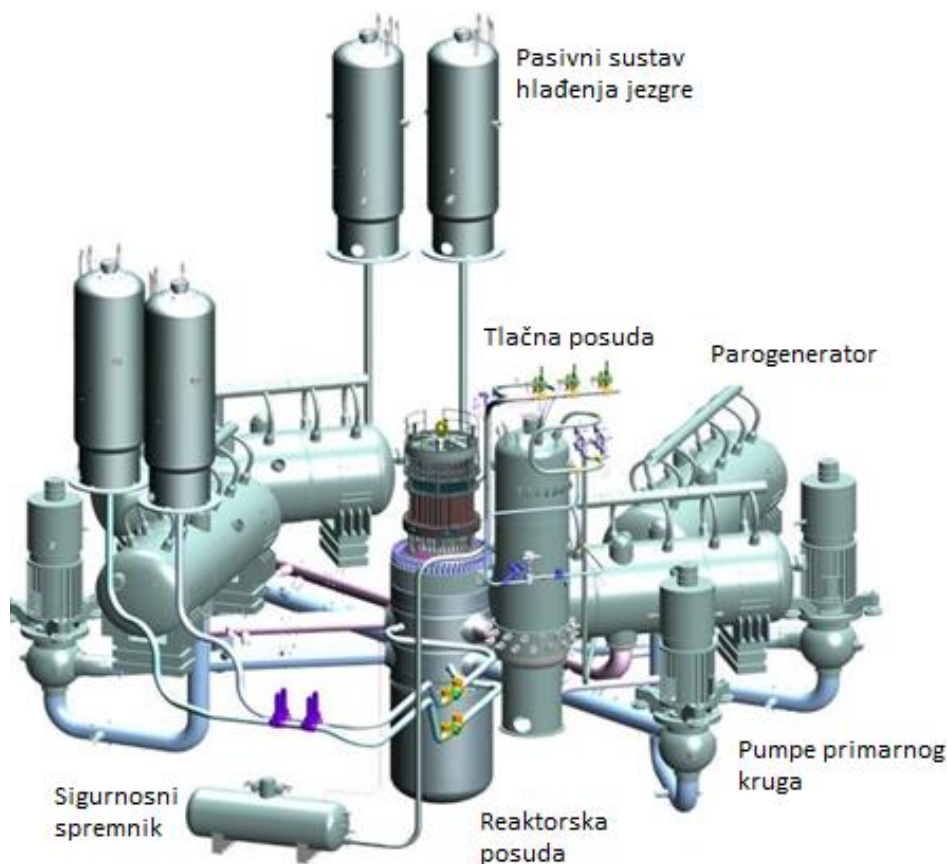
oksida, kao gorivo koriste se mješavine potrošenog urana i plutonija, legure urana s ostalim metalima (Al, Si, Zr, Mo) i nemetalima (nitridi, karbidi) te tekuća goriva. Detaljna analiza nuklearnih goriva izostavljena je u ovom radu jer nije relevantna za tematiku.

1.2.2. Nuklearne elektrane u svijetu

Prve komercijalne NE započele su s radom 1950.-tih. Danas je u upotrebi preko 440 nuklearnih reaktora u 31 zemlji. Ukupan kapacitet je 390.000 MW električne energije. Oko 60 reaktora je trenutno u izgradnji. Odlike NE jesu kontinuiranost i pouzdano pokrivanje osnovnih potreba električne mreže bez ispuštanja ugljikovog dioksida tijekom rada. U 55 zemalja koriste se istraživački reaktori, a dodatnih 180 reaktora pogoni oko 140 brodova i podmornica.

1.2.3. Sustavi u nuklearnim elektranama

Izvor topline u ovom slučaju je nuklearni reaktor. Toplina se koristi za isparavanje vode te se stvorena para odvodi u parnu turbinu. Termodinamički proces isparavanja i kondenzacije odgovara Rankineovom ciklusu. Parna turbina je višestupanjska i vrti generator izmjenične struje malog broja polova. Pretvorba nuklearne u električnu energiju je indirektna, kao što je to slučaj u termoelektranama.



Slika 2. Reaktor i primarni krug hlađenja

Prema [7] najveći broj korištenih reaktora u svijetu je PWR tipa (eng. *Pressurized Water Reactor*) - reaktor s visokotlačnim primarnim krugom. Za rad tog reaktora koristi se parogenerator na koji se nadovezuje tema ovog diplomskog rada, te će u nastavku isti biti objašnjen i prikazan.

1.2.4. Reaktor

Reaktor je ključni uređaj u nuklearnoj elektrani, laboratorijima za istraživanje radioaktivnih pojava te kao izvor energije za plovila na nuklearni pogon. Glavna funkcija reaktora je iniciranje i održavanje kontroliranih uvjeta lančane nuklearne reakcije.

Obogaćeni praškasti uzorak uranijevog oksida sinterira se u cilindre (pelete) dimenzija $\Phi 18 \times 25$ mm. Ti cilindri ubacuju se u zaštitne cijevi od cirkonijeve legure koja je danas najčešći materijal koji se koristi za tu svrhu. Cirkonijeva legura koristi se zato jer ima dobru toplinsku vodljivost, otpornost na koroziju, te malu apsorpciju neutrona [10]. Cijevi se zatim hermetički zatvaraju i ispunjavaju helijem radi boljeg provođenja topline. Cijevi ispunjene gorivom spajaju se u ćelije. Ćelije čine reaktorsku jezgru i potopljene su u vodu koja cirkulira i hladi ih. Hlađenje reaktora je od primarne važnosti za siguran rad NE zbog moderiranja nuklearne reakcije. Moderiranje je proces usporavanja neutrona razvijenih u fisijskoj reakciji.



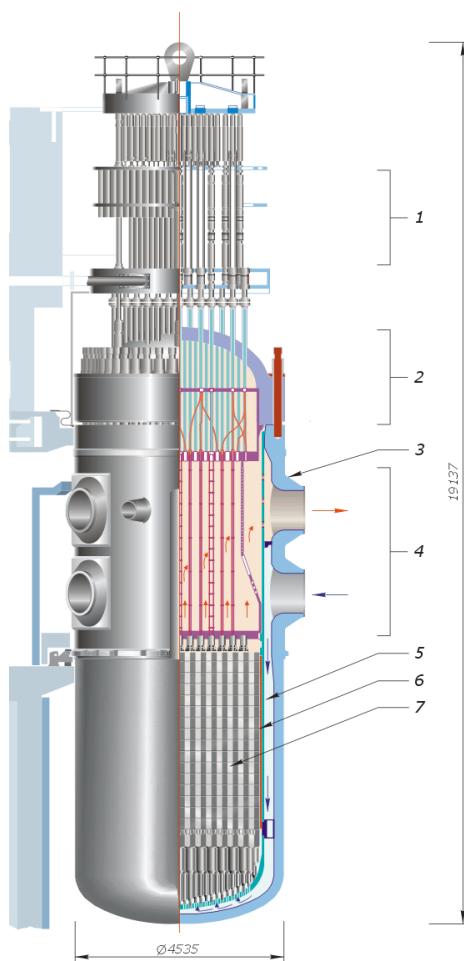
Slika 3. Sklop gorivih ćelija(lijevo) i kontrolne šipke

Kontrolne šipke se koriste za određivanje dinamike nuklearne reakcije u reaktoru. Dinamika reakcije kontrolira se apsorpcijom neutrona. Kontrolne šipke postavljene su vertikalno u reaktoru te prolaze kroz gorive ćelije. Izvlačenjem iz jezgre reaktora manje se neutrona apsorbira, reakcija se ubrzava, proizvodi se više topline i pare te posljedično električne energije. Vraćanjem šipki u jezgru reaktora reakcija se usporava. U slučaju nezgode ili dopunjavanja

gorivom šipke se automatski ubacuju u jezgru reaktora čime se reaktor gasi. U slučaju potpunog gašenja reaktora, toplina se i dalje generira radioaktivnim raspadom, što znači da reaktor treba još određeno vrijeme hladiti [11]. Najčešće korištena vrsta reaktora jesu reaktori moderirani običnom demineraliziranom vodom. Reaktori moderirani običnom vodom dijele se na reaktore s visokotlačnim primarnim krugom te kipuće reaktore.



Slika 4. Sklop gorivih ćelija(lijevo) i kontrolne šipke



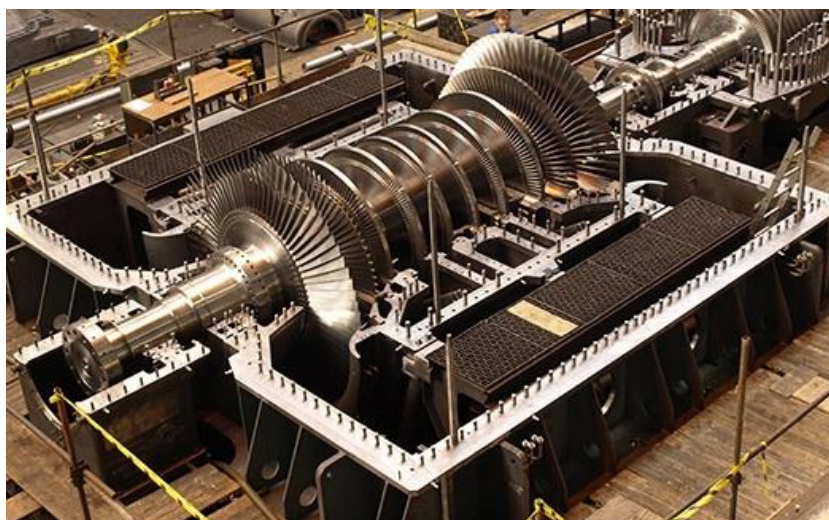
Slika 5. Presjek VVER - 1000 reaktora

Opis ruskog VVER-1000 reaktora:

1. Sustav pozicioniranja kontrolnih šipki
2. Sklop poklopca reaktorske posude
3. Reaktorska posuda
4. Ulaz i izlaz vode primarnog kruga
5. Silazni vod vode
6. Reflektor neutrona
7. Gorivi štapovi

1.2.5. Parna turbina

Parna turbina je sustav koji pretvara toplinsku energiju vodene pare pod tlakom u mehaničku energiju. Ekspanzijom vodene pare lopatice preuzimaju energiju i pretvaraju je u rotacijsku energiju koja se vratilom dovodi do generatora. U NE se najčešće koriste višestupanjske turbine.



Slika 6. Presjek višestupanjske parne turbine

1.2.6. Generator

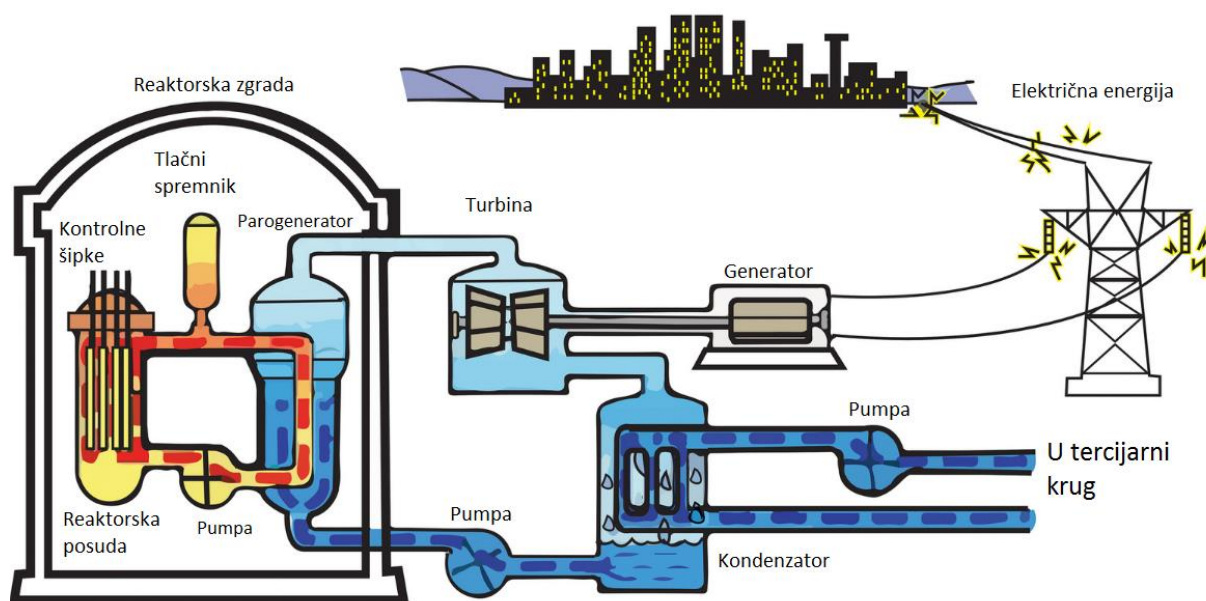
Generator je sustav koji mehaničku energiju pogonskoga stroja pretvara u električnu energiju. Izmjenični električni generator temeljni je izvor električne energije, istosmjerni električni generator služi za posebne namjene. Generator u kombinaciji sa turbinom naziva se turbogenerator. Kod tako velikih generatora efikasnost je oko 98%, što za jedan generator od 1000 MW znači oko 20MW gubitaka, najviše u obliku topline. Rotor generatora se zato mora efikasno hladiti uz što manje aerodinamičke otpore, pa se koristi vodik koji je puno rjeđi od zraka te ima bolja termodinamička svojstva.



Slika 7. Sklop turbina - generator

1.2.7. Sustav za hlađenje PWR reaktora

Sustavi za hlađenje unutar nuklearne elektrane ključni su element za održavanje nuklearne reakcije pod nadzorom. Protok vode kroz reaktor odvodi toplinu te moderira reakciju usporavanjem neutrona. Koriste se minimalno dva zatvorena kruga hlađenja zato jer primarna voda koja hladi reaktor preuzima određenu dozu radioaktivnosti iz reaktora.

Slika 8. Shema reaktora s vodom pod visokim tlakom - PWR *Pressurized water reactor*

Nakon turbine voda odlazi u kondenzator gdje dolazi do potpune promjene faze iz neke pare u tekućinu. Tercijarni krug hlađenja odvodi preostalu toplinu (2000 MW i 30 °C) u okoliš. Tercijarni krug s okolišem izmjenjuje toplinu na više načina:

- a) Protočni tercijarni sustav koji uzima vodu iz okoliša (npr. rijeke, jezera, akumulacijskih jezera ili oceana), hladi suhozasićenu paru, te vraća topliju vodu u

okoliš. Isprva su bili popularni zbog jednostavnosti, niske cijene te mogućnosti da se elektrane smjeste u blizini velikih količina vode. Ovaj sustav je sve manje zastupljen u novim elektranama zbog lošeg učinka na vodene ekosustave, prvenstveno zbog povećane temperature vode koja se vraća u okoliš.

- b) Recirkulirajući tercijarni sustav spojen je na rashladne tornjeve (aktivne ili pasivne). Hlađenjem u tornjevima određeni udio vodene pare prelazi u okoliš pa je potrebno to nadoknaditi dodavanjem vode u recirkulirajući sustav.
- c) Sustav hlađenja pare zrakom ne koriste vodu i mogu smanjiti ukupnu potrošnju vode NE za više od 90%. Negativne posljedice ovakvih sustava su viši troškovi i niža efikasnost. Niža efikasnost kao posljedicu povlači činjenicu da je potrebno više goriva po jedinici električne energije. Posljedično, onečišćenje zraka i utjecaj na okoliš zbog rudarenja, prerade i prijevoza goriva rastu.

1.2.8. Sigurnosni sustav

Tri najbitnija cilja sigurnosnog sustava unutar nuklearne elektrane jesu:

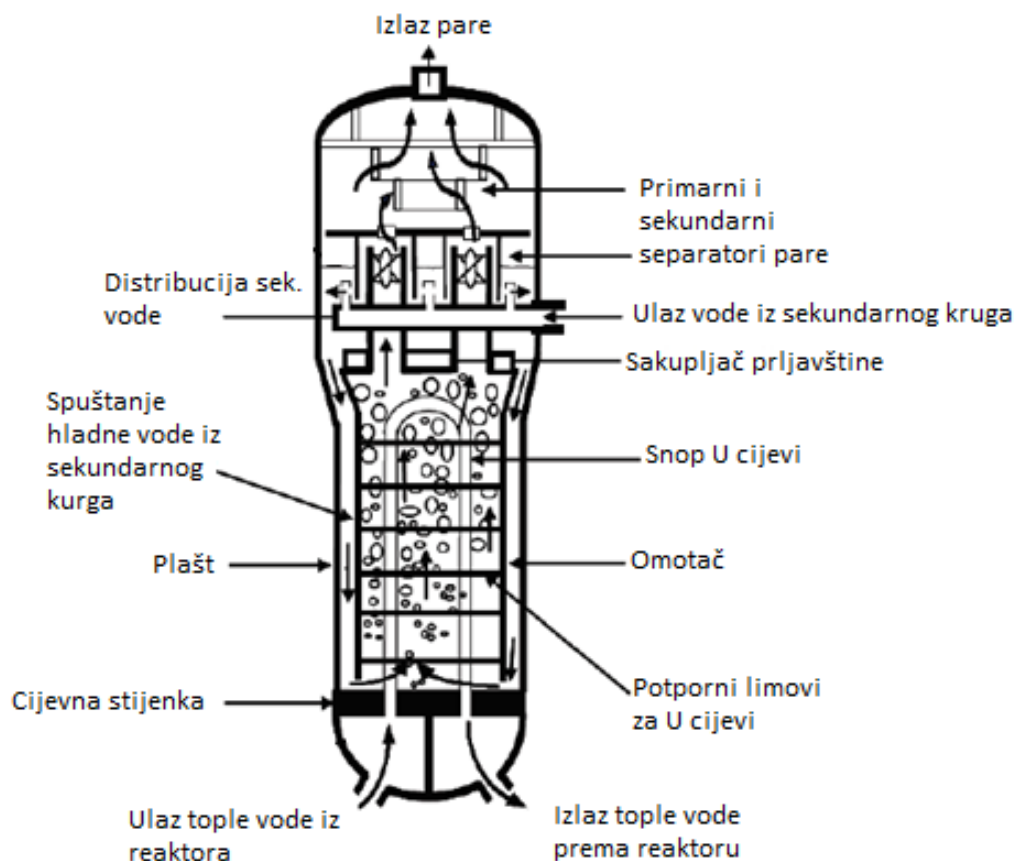
- a) Ugasiti reaktor
- b) Držati reaktor ugašenim
- c) Spriječiti izbacivanje radioaktivnog materijala

Primarni sustav zaštite isti čas zaustavlja nuklearnu reakciju u reaktoru spuštanjem kontrolnih šipki. Dodatni sustavi hlađenja zatim mogu početi odvoditi toplinu razvijenu radioaktivnim raspadom nuklearnog goriva.

Glavna funkcija kontrolnih šipki je apsorbiranje neutrona. Ona je zadovoljena pravilnim odabirom materijala (aktinidi, lantanidi, prijelazni metali, bor). Uz glavni zahtjev bitni su također i nizak koeficijent toplinskog širenja te dobra klizna svojstva, kako se šipke ne bi zaglavile. Zbog visokih temperatura nije moguće koristiti bilo kakvo podmazujuće sredstvo. U slučaju bilo kakvog problema s kontrolnim šipkama moguće je naglo povećati koncentraciju bora u vodi primarnog kruga, čime je pojačana apsorpcija neutrona.

2. Parogenerator – opis načina rada i konstrukcije

Parogenerator (PG) je izmjenjivač topline između primarnog, radioaktivnog kruga vode i sekundarnog kruga pare koja pokreće turbinu [23]. Dvije struje, u ovom slučaju vode, međusobno su razdvojene čvrstom stjenkom, što ih prema [24] svrstava pod rekuperativne toplinske aparate. Parogenerator je dio sustava PWR reaktora. U komercijalnim NE nalazimo od 2 do 6 parogeneratorsa po jednom reaktoru [23][25].



Slika 9. Shema parogeneratorsa i kretanja fluida unutar parogeneratorsa

2.1. Opis načina rada parogeneratorsa

U primarnom krugu voda se nalazi pod visokim pritiskom od oko 16 MPa i u reaktoru se grije na oko 330 °C. Iz termodinamike je poznato da na tom tlaku temperatura vrelišta za vodu iznosi oko 350 Celzijevih stupnjeva. Temperatura vode koja ulazi u PG iz reaktora je oko 330 °C, što za taj tlak i temperaturu pokazuje da imamo mješavinu zasićene pare. Pri ovome procesu jako je bitno da ne dođe do ključanja vode u primarnom krugu. Voda primarnog kruga napušta PG na oko 295°C te se pumpanjem vraća u reaktor [23][26].

U sekundarnom krugu tlak vode je otprilike 6,5 MPa, što znači da je temperatura isparavanja 286 °C. Prolaskom kroz PG sekundarna voda grije se sa oko 260 °C do ključanja. Glavne funkcije uklopljene u konstrukciju sekundarnog kruga su:

- a) Povrat kondenzata nakon hlađenja,
- b) Pravilno miješanje i grijanje kondenzata (sprječavanje toplinskog šoka),
- c) Omogućavanje isparavanja,
- d) Separacija kapljica vode iz pare, povrat kapljica, nesmetani izlaz pare,
- e) Mjerenje razine vode,
- f) Uzimanje uzoraka vode,

Termalna snaga reaktora je oko 3400 MW, a ukupna izlazna električna snaga je oko 1100 MW, što znači da je efikasnost Rankineovog ciklusa s uključenim generatorskim gubicima oko 33% [27].

2.2. Opis konstrukcije parogeneratora

Danas su najčešće u upotrebi dvije varijante parogeneratora: protočni horizontalni parogenerator (eng. *once - trough*) te vertikalni parogenerator sa U cijevima. Horizontalni parogeneratori koriste se u kombinaciji sa VVER reaktorima. Kod vertikalne izvedbe visina konstrukcije iznosi do 21 m te može težiti i 800 tona [23].

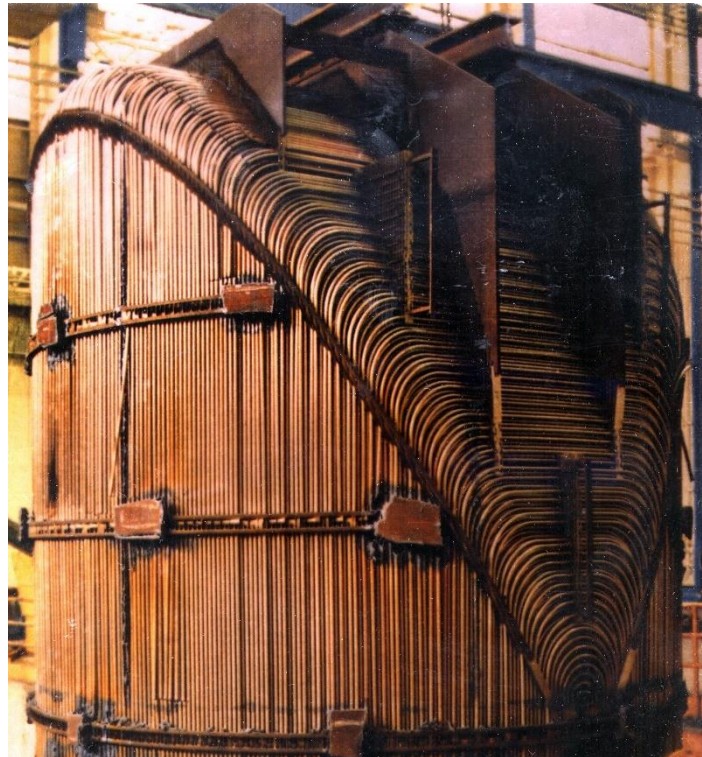


Slika 10. Fotografija parogeneratora na transportnom sredstvu

Kako bi se povećao iznos topline koji prelazi sa primarnog na sekundarni krug vode, površina za izmjenu topline mora biti najveća moguća. To se postiže korištenjem cijevi stavljenih u snop. U jednom parogeneratoru može biti između 3000 i 16000 cijevi [23]. Za konstrukciju parogeneratora koriste se materijali izdržljivi na visoke temperature, visoka naprezanja, visoke

doze radijacije te koroziju kroz duži vremenski period. Najčešće korišteni materijali za konstrukciju cijevi su sljedeći [25]:

- Superlegure nikla i kroma *Inconel* 600, 690
- Legura nehrđajućeg čelika, nikla i kroma *Alloy* 800
- Legura nikla i bakra *Monel* 400
- AISI 316 nehrđajući čelik



Slika 11. Fotografija snopa U cijevi

Cijevi unutar parogeneratorsa su jedna od primarnih barijera između radioaktivnog i čistog dijela NE. Tijekom upotrebe prisutni su razni mehanizmi trošenja cijevi te je potrebno redovito kontrolirati njihov integritet. U slučaju puknuća cijevi postoji potencijalno opasna situacija kontaminiranja sekundarnog kruga vode, pa se tijekom planiranih održavanja NE pregledavaju dio ili sve cijevi pregledavaju vrtložnim strujama (eng. *Eddy current*) uz pomoć sonde. U slučaju detektiranih problema cijevi se začepe i tako stave izvan funkcije.

3. INETEC Forerunner

Forerunner je lagani mobilni manipulator tvrtke INETEC koji se koristi za automatsko nerazorno ispitivanje cijevi parogenerators. Prilagodljiv je raznim rasporedima cijevi (trokutasti i kvadratni) te raznim unutrašnjim promjerima cijevi. Sastoji se dva povezana segmenta sa zajedničkom zglobov koji omogućuje relativno gibanje jednog segmenta u odnosu na drugi, mirujući. Na krajevima svakog segmenta nalazi se hvataljka kojom se ostvaruje radijalna sila u svim smjerovima na unutrašnji promjer cijevi parogenerators. Neke od specifikacija manipulators su:

- Napajanje 110/220 VAC, 50-60 Hz
- Pneumatski sustav 5-8 bar
- Radni napon 24 V
- Ukupna masa 22 kg
- Pomoćna os doseže 72 cijevi bez pomicanja manipulators čime se smanjuje vrijeme inspekcije
- Pneumatske hvataljke proizvode silu od 1700 N po hvataljki na 5 bar
- Velika površina hvataljki ne uzrokuje oštećenja uslijed površinskog pritiska
- Funkcija samo ispravljanja nagiba u odnosu na cijevnu stjenku
- Dostupno ručno skidanje uređaja uslijed hitnog slučaja
- Moguće ispitivati vertikalne i horizontalne cijevne stjenke
- Vrijeme ugradnje kraće od jedne minute
- Projektiran za lagano čišćenje

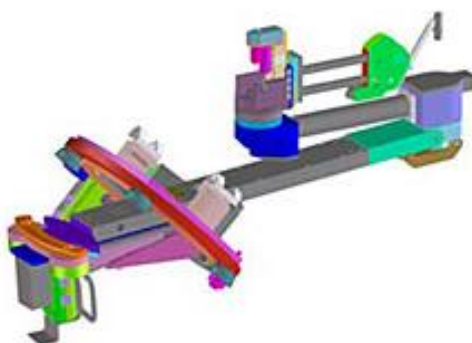


Slika 12. INETEC Forerunner manipulator na postolju

4. Postojeća rješenja za ispitivanje cijevi parogeneratora

Analizom tržišta i pregledom postojećih rješenja dobiva se uvid u trenutno stanje tehnike. Također, korištenjem postojećih rješenja moguće je prebaciti fokus na kritične probleme za koje ne postoji zadovoljavajuće rješenje. Korištenje postojećih rješenja često je brže i jeftinije od razvoja novih tehničkih rješenja [28].

4.1. Zetec SM-23A



Slika 13. Manipulator Zetec SM 23 A

Zetec SM 23 A je manipulator s motoriziranim nosačem za brzo i precizno pozicioniranje alata na stjenku cijevi.

Posebnosti ovog manipulatora su:

- Mogućnost ispitivanja 100% cijevi na stijenci PG
- Oslonac manipulatora je pneumatski osiguran na prirubnicu parogeneratora za brzu instalaciju i skidanje
- Univerzalni spoj lastin rep omogućava brzu montažu i demontažu kamere, duplih vodilica i ostalih potrebnih alata
- 3 modula omogućuju jednostavno sastavljanje od strane 2 osobe
- Računalom upravljani pogoni odgovorni za kretanje glavnog nosača
- Vizualni prikaz u realnom vremenu upotrebom kamere

Specifikacije:

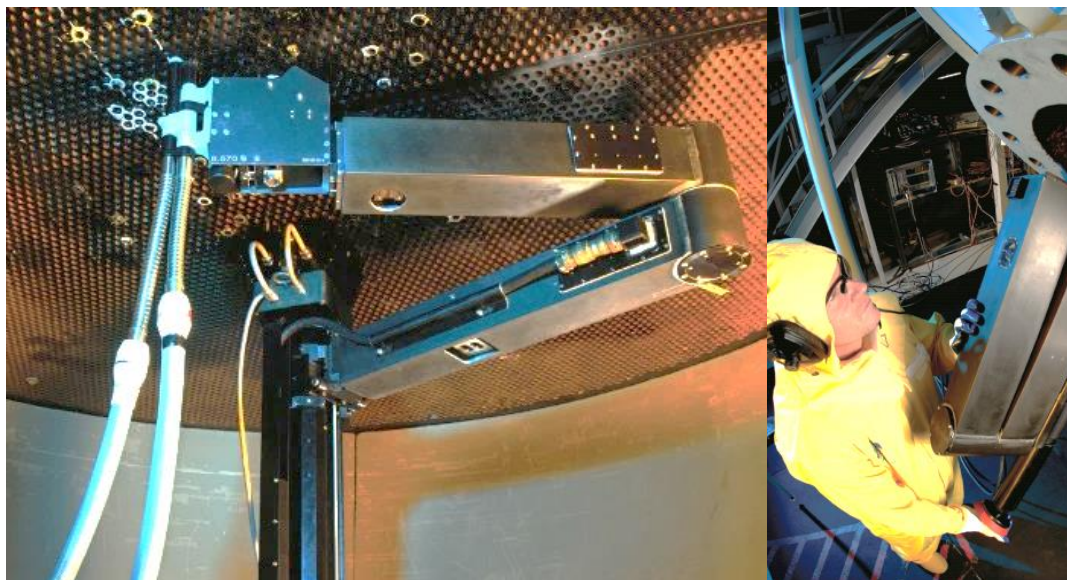
- Materijali: nehrđajući čelik i aluminij
- Težina sklopa prirubnice i glavnog nosača 23 kg
- Težina okretnih nosača alata (bez alata) 4 kg
- Pogonski motori: istosmjerni s četkicama i bez četkica, 24 V
- Izvor svjetlosti – halogen lampa 12 V

4.2. Areva RANGER

Areva RANGER je manipulator za dobavu raznih alata na stjenku PG. Operacije koje omogućuje RANGER jesu začepljivanje i stabilizacija cijevi, povlačenje cijevi, i zavarivanje. Glavni vertikalni nosač sa dva okretna horizontalna nosača omogućuju pristup svim cijevima na stjenci PG. Ti nosači također omogućuju kompaktnost cijelog manipulatora tijekom ubacivanja u PG.

Posebnosti ovog manipulatora su:

- Potrebna jedna osoba za instalaciju, smanjeno vrijeme izlaganja radijaciji za 1/3
- Vrijeme instalacije manje od 10 minuta
- Zamjena alata vrši se kroz prirubnicu PG, mala doza radijacije za osoblje
- Vizualni prikaz napretka inspekcije, minimalni teret za radnika
- Mogućnost dekontaminacije vodom pod visokim pritiskom
- Inspekcija vrtložnim strujama prema planu cijevi na stjenci
- Povratak na već pregledane cijevi u kratkom vremenskom razdoblju
- Integracija sa svim postojećim procesima za ispitivanja vrtložnim strujama



Slika 14. Areva Ranger u radnom položaju (lijevo) te tijekom instalacije (desno)

4.3. B&W NE/Intech Spyder

Spyder je fleksibilna modularna platforma razvijena da bi zadovoljila različite zahtjeve, primarno se traži povećana preciznost i smanjenje doze zračenja, uz smanjene financijske troškove. Konstrukcijski zahtjevi prikupljeni su u suradnji s korisnicima i osobljem koje bi

koristilo takav uređaj. Industrijska postrojenja sadrže različite komponente te zahtjevi značajno variraju :

- Omogućen prolaz kroz promjere cijevi u rasponu 0.5 m do 3 m + kvadratni presjeci
- Varijacije u debljini stjenke i broju komponenti izmjenjivača
- Raspored i razmak cijevi
- Oblik parogeneratora i različiti načini pristupa stjenci sa cijevima



Slika 15. Detalj robotske ruke sustava *Spyder*

Smjernice korištene pri projektiranju platforme *Spyder*:

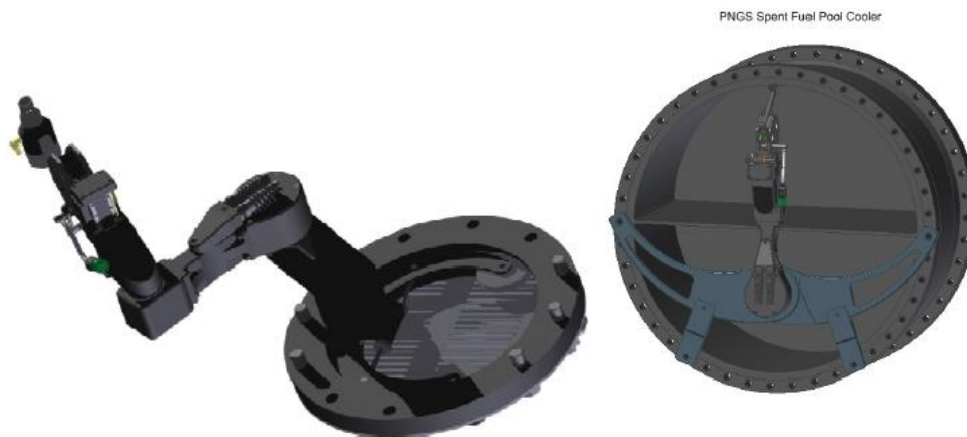
- Korištenje univerzalnih „commercial - of - the shelf“ komponenti, smanjeno vrijeme nabave, minimizirani trošak popravaka
- Upravljanje pogonskih jedinica univerzalnom sabirnicom
- Upravljački program manipulatora trebao bi biti intuitivan te jednostavan za učenje
- Modularni pogoni omogućuju konfiguracije za razne namjene te olakšavaju popravke
- Konstrukcija otporna na ekstremne uvjete tijekom korištenja

Rješenja odabrana na temelju smjernica:

- Elektromotorni pogon s visokim prijenosnim omjerom, bez zračnosti, 24 VDC, s enkoderom visoke rezolucije
- CAN (eng. *Controlled Area Network*) univerzalna sabirnica za upravljanje
- Vodootporno kućište sa ugrađenim univerzalnim konektorima za brzu izmjenu, te spojevi pomoću lastinog repa
- Konektori zaštićeni kućištem od aluminija

Platforma *Spyder* razvijena je za tri specifične aplikacije prikazane na sljedećim slikama:

- Montaža na prirubnicu PG
- Montaža na prirubnicu većeg promjera
- Montaža na stjenku parogeneratora upotrebom čeljusti



Slika 16. Načini prihvata sustava *Spyder* na prirubnice



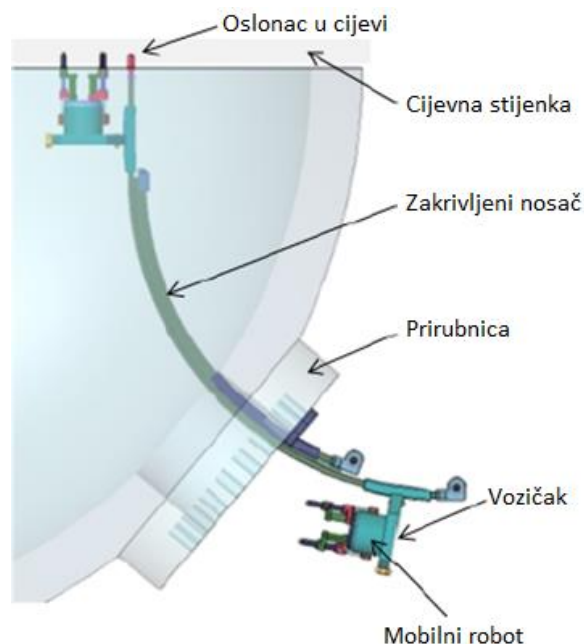
Slika 17. Načini prihvata sustava *Spyder* na cijevnu stjenku

4.4. KAERI Korea

Prikazani robotski sustav za inspekciju i popravak cijevi parogeneratora razvijen je, proizveden i testiran u Južnoj Koreji. Ciljani zahtjevi ovog sustava utvrđeni su usporedbom sa fiksnim sustavom i postojećim mobilnim sustavima kojima se ispituju cijevi parogeneratora, a oni su sljedeći:

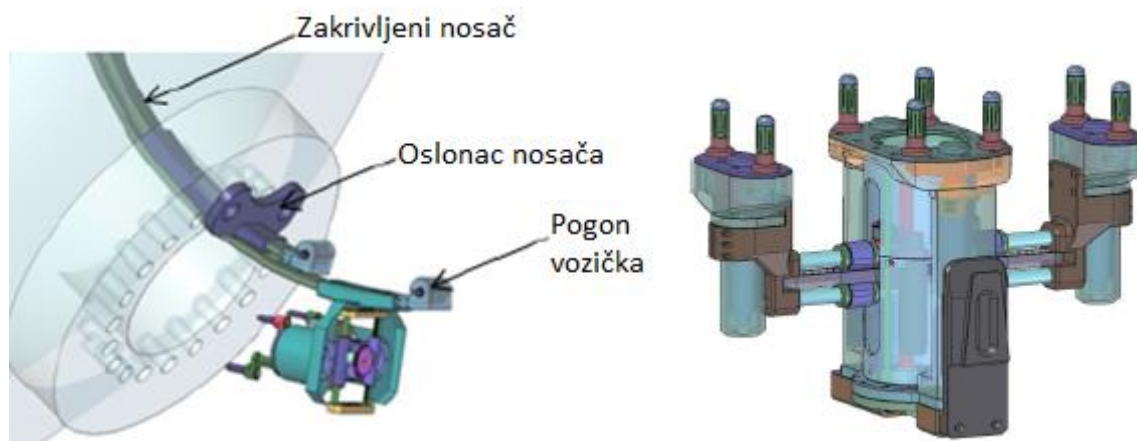
- Segmenti fiksnog sustava moraju biti velikih dimenzija kako bi se povećala krutost sustava, mobilni robot može biti malih dimenzija i male težine
- Zbog dugačkih segmenata i velike težine alata, fiksni sustav ima određenu netočnost pozicioniranja alata
- Zbog malih dimenzija mobilnog robota, na stjenci mogu biti i dva robota
- Pneumatski sustavi korišteni za čeljusti mogu zakazati, potrebna prethodna priprema spremnika zraka

- Smanjeno izlaganje osoblja tijekom montaže upotrebom krutog nosača umjesto sustava s užetom i koloturama



Slika 18. CAD shema KAERI sustava

Kruti nosač sastavljen je od više dijelova: fiksnog nosača pričvršćenog na prirubnicu parogeneratorskog sustava, zakrivljenog nosača s uporištem u jednoj od cijevi na stijenci parogeneratorskog sustava te nosača za mobilnog robota. Fiksni nosač omogućava montažu zakrivljenog nosača zahvaljujući kliznoj vodilici, te se zakrivljeni nosač pogura do cijevi na stijenci te uporištem centrira u odabranu cijev. Mobilni robot se zatim svojim motoriziranim nosačem dobavi do stijenke i sigurno prikači čeljustima pokretanim elektromotorima. Kruti nosač je moguće skinuti kako bi robot pregledao cijevi koje je nosač zauzeo kod montaže.



Slika 19. 3D CAD modeli spoja sustava na prirubnicu te mobilnog robota

4.5. Zaključak analize tržišta

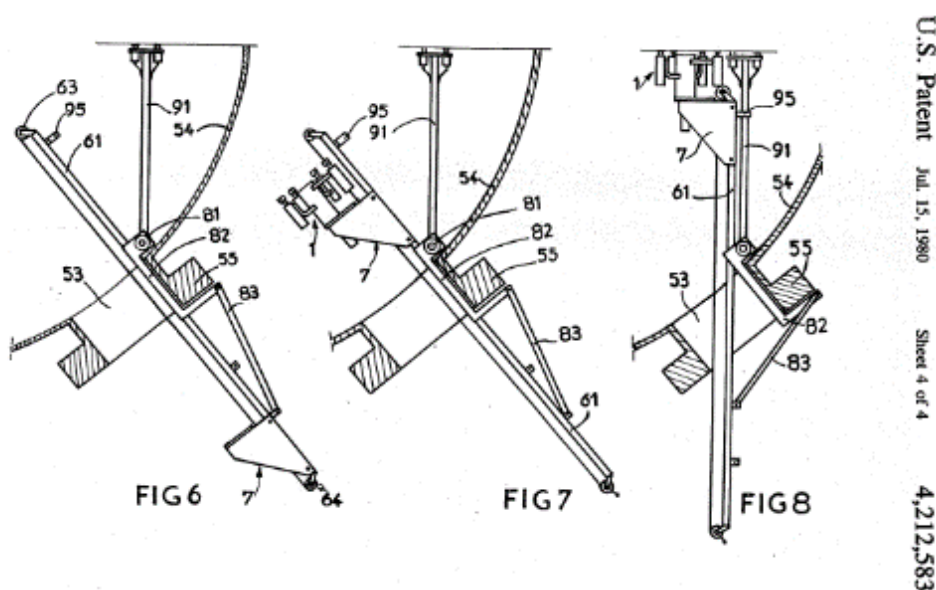
Analiza tržišta ukazala je na bitne specifikacije ovakvih uređaja, a to su: brzina postavljanja u radni položaj te masa konstrukcije. Među malim brojem pronađenih rješenja prevladavaju robotske ruke sa jednim ili dva oslonca. Eksperimentalni uređaj KAERI iz Koreje principijelno je najbližiji INETEC-ovom Forerunneru, te on može poslužiti kao baza za početak razvoja.

5. Pretraživanje патената

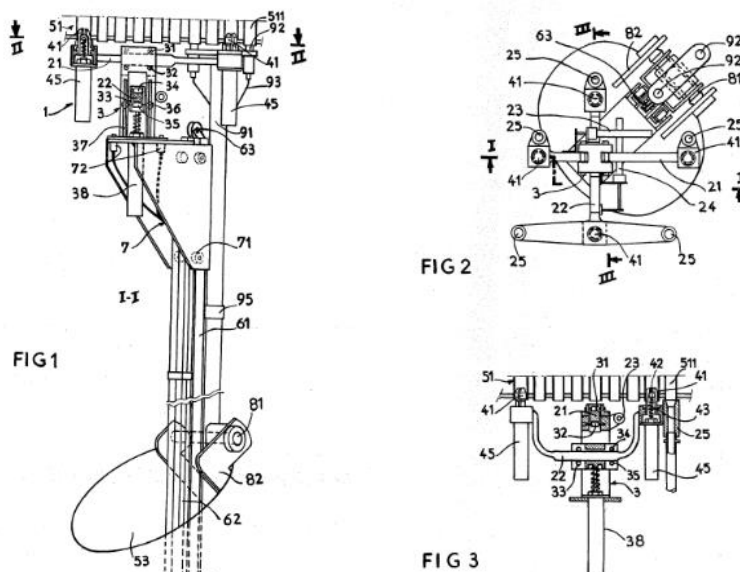
Prije konstrukcijske razrade korisno je pretraživanjem baze патената ustanoviti kakvi principi i konstrukcijska rješenja postoje za odabrano područje. Patenti sadrže detaljne opise i crteže mnogih uređaja i proizvoda i principa ugrađenih u iste. Te informacije mogu poslužiti kao izvor ideja u procesu razvoja, ili ograničiti primjenu nekih ideja iz патената zbog patentne zaštite [28]. Fokus tijekom pretrage stavljen je na sve uređaje na temu instaliranja ili dobave objekata do cijevne stjenke u radioaktivnoj okolini. Pretraga je izvršena uz pomoću *Google Patents* tražilice.

5.1. Patent US4212583 - 1990.

Patent opisuje mehanički sustav za dobavu manipulatora (1) na stjenku parogeneratora. Manipulator (1) ima dva glavna pravokutna nosača (21) i (22) čija relativna translacijska gibanja uzduž zajedničkog kućišta omogućuju kretanje po čitavoj površini stjenke parogeneratora. Na krajevima nosača nalaze se cilindrični klinovi (25). Pogonjeni vretenom, klinovi stvaraju sile na stjenke cijevi koje onemogućavaju ispadanje manipulatora kada se manipulator odvoji od postolja za dobavu (7). Sustav za dobavu sastoji se od više dijelova: linearne vodilice (61), referentnog štapa (91), sklopa za rotaciju cijelog mehanizma (81), postolja za prihvrat na prirubnicu parogeneratora (82), te postolja za manipulator (7). Referentni štap omogućava rotaciju linearne vodilice oko svornjaka, čime se postolju s manipulatorom omogućava vertikalno gibanje prema stjenki. Postolje za dobavu manipulatora (7) pogoni se lancem (62). Štapom (83) omogućeni su razni nagibi cijelog sustava u odnosu na prirubnicu parogeneratora.

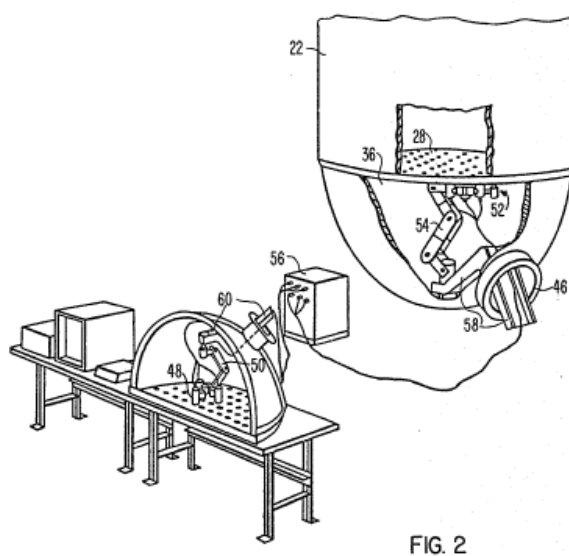


Slika 20. Nosiva konstrukcija patenta US4212583



Slika 21. Detalj prihvaća na cijevnu stjenku patenta US4212583

5.2. Patent US4303368A - 1981.



Slika 22. Shema patenta US4303368A

Patent opisuje mehanički sustav za ispitivanje cijevi sastavljen od trodimenzionalnog umanjenog fizičkog modela (48,50,60), upravljačkog stola, te robotske ruke i sustava za dobavu u samom parogeneratoru (52,54,58). Upravljački stol i umanjeni model smješteni su podalje od parogeneratora da bi se utjecaj radijacije na osoblje smanjio na minimum. Osoblje ručno pomiče dijelove umanjenog fizičkog modela čije se kretnje preko upravljačke kutije (56) prenose na realan model. Slika 22 predstavlja izgled i umanjenog modela i realnog modela.

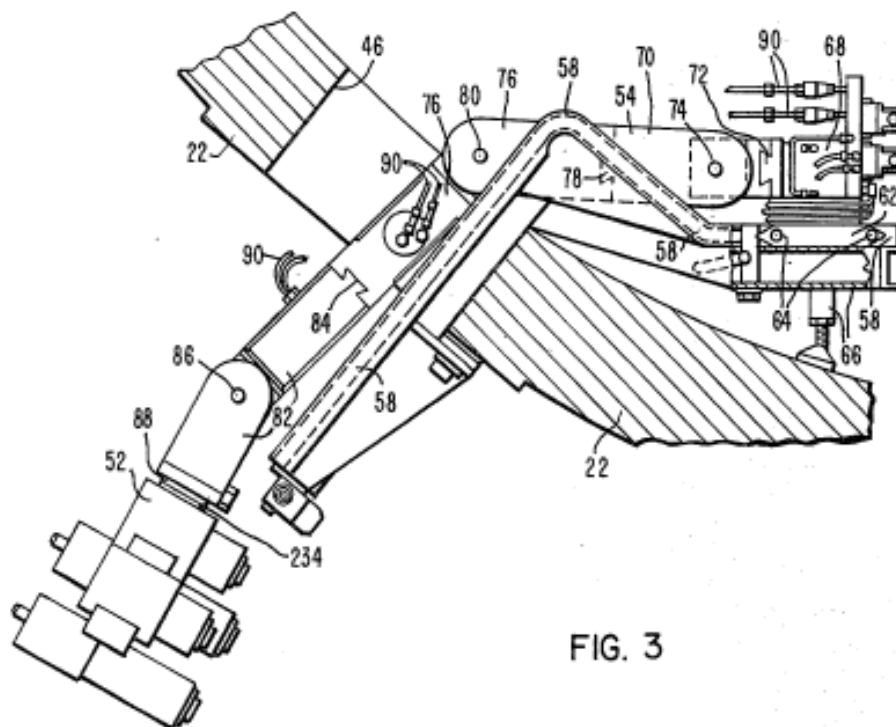


FIG. 3

Slika 23. Detalj prihвата patenta US4303368A na prirubnicu parogeneratora

Postolje (62) predstavlja oslonac robotske ruke unutar parogeneratora (22). Linearne vodilice (58) omogućuju kretanje mobilnog dijela postolja (62) u parogenerator. Kretanje je ostvareno lancem (nije prikazan na crtežu). Fiksni dio postolja učvršćen je za prirubnicu parogeneratora te ima također oslonac na stjenku parogeneratora (66).

U.S. Patent Dec. 1, 1981 Sheet 5 of 16 4,303,368

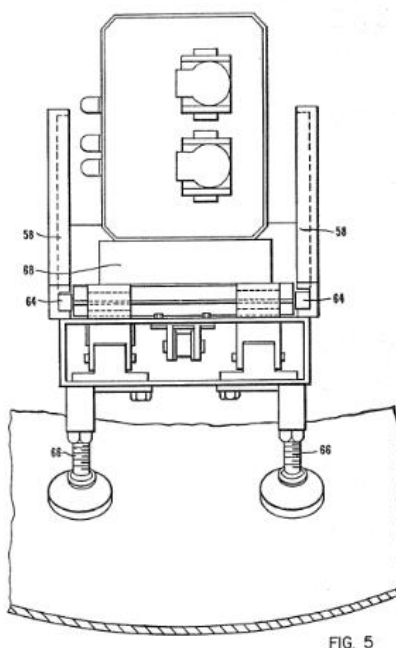
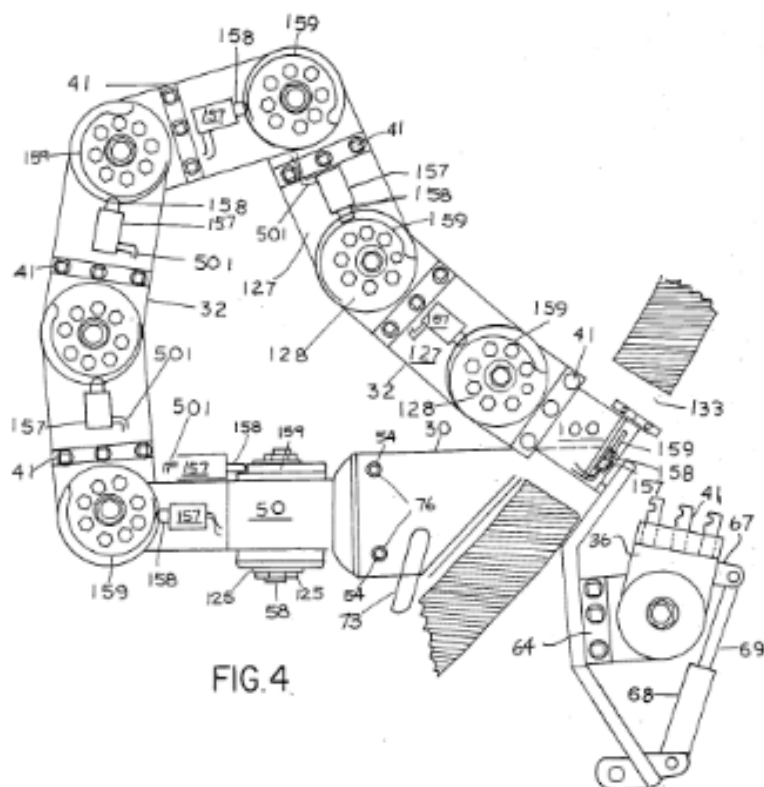


FIG. 5

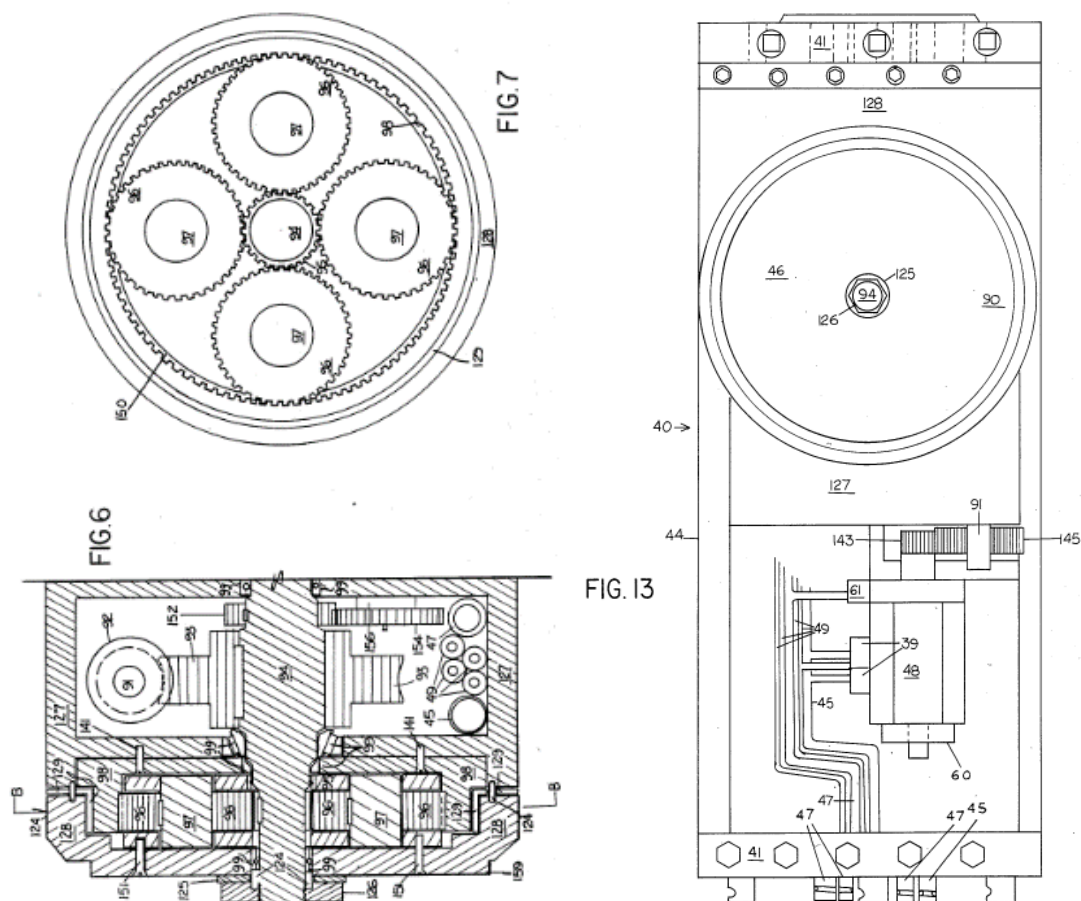
Slika 24. Detalj oslonca patenta US4303368A na unutrašnju stjenku parogeneratora

5.3. Patent US4561816A - 1985.

Patent opisuje manipulator s različitim nastavcima za inspekciju i popravke cijevi te metodu za upravljanje istim potenciometrima. Potenciometri i umanjeni model nalaze se podalje od parogeneratora zbog utjecaja radijacije na osoblje. Osoblje potenciometrima pokreće umanjeni model i realan model unutar parogeneratora. Manipulator je sastavljen od članaka (40) i postolja (30) koji se povezuje vijcima na prirubnicu parogeneratora. Kućišta članaka (44) su pravokutnog presjeka, čija je dijagonala manja od unutrašnjeg promjera prirubnice. Svaki članak ima dvodijelno kućište (127 i 128). Za rotaciju dijela kućišta 128 oko dijela 127 koristi se elektromotor te dvostruka redukcija broja okretaja preko pužnog i planetarnog prijenosnika. Na krajevima svakog članka nalaze se muško-ženski mehanički konektori (41) za međusobno spajanje članaka. Kod ulaska manipulatora u parogenerator članci su prihvaćeni za postolja s izvan parogeneratora (36), te se manipulator uvodi u PG s ciljem centriranja postolja s unutrašnje strane PG (30). Tako dobijemo postolje s dva nepomična članka (36 i 30) spojena manipulatorom kroz prirubnicu. Naknadno se vanjski članak (100) otkачi od postolja (64) te je spreman prihvatiti članke s različitim alatima koje treba dovesti do stijenke parogeneratora.



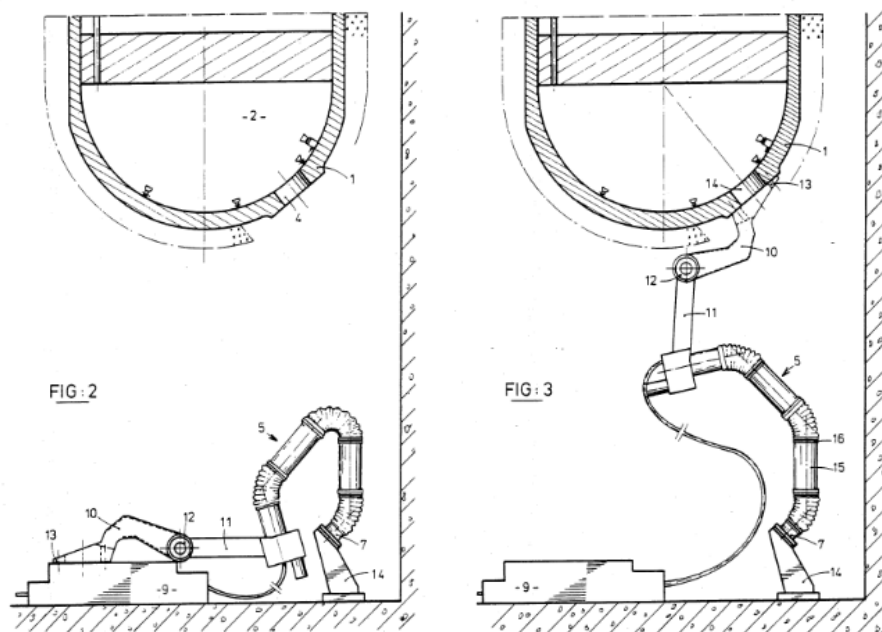
Slika 25. Konstrukcija US4561816A u položaju uvlačenja u parogenerator



Slika 26. Shema sklopa zglobnih članaka patenta US4561816A

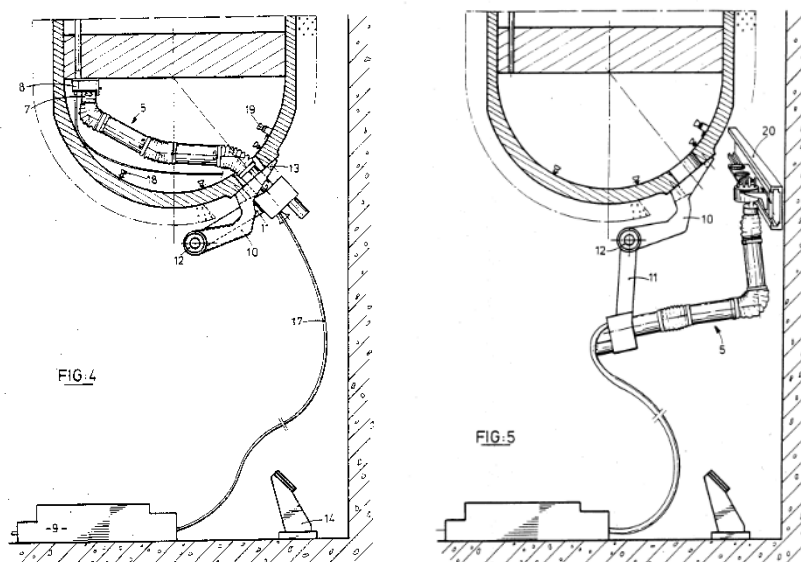
5.4. Patent US4919194A - 1990.

Patent opisuje metodu postavljanja manipulatora u opasnu zonu oko i u parogenerator. Manipulator je upravljani računalom, a pozicionira se uz pomoć više referentnih fiksnih točaka (prirubnica parogeneratora (4), fiksno postolje na podu (14)). Prvi korak operacije je dovođenje manipulatora na vozilu (9) ispod parogeneratora. Zatim se manipulator zakači na prvu fiksnu točku (postolje 14) te preveze postolje (10) do prirubnice. Spoj lima U oblika (13) s prirubnicom parogeneratora izveden je vijcima.



Slika 27. Početni koraci postavljanja patenta US4919194A

Tako prihvaćeni manipulator spreman je za daljnje operacije ulaska u parogenerator. Na zadnji članak (7) moguće je prikopčati razne alate dostupne na polici (20). Na FIG. 4 postavljen je alat za pregled cijevi (8). Cilj ove metode je uklanjanje raznih struktura koje bi bile potrebne da se manipulator dovede u radnu poziciju te smanjenje vremena za postavljanje manipulatora.

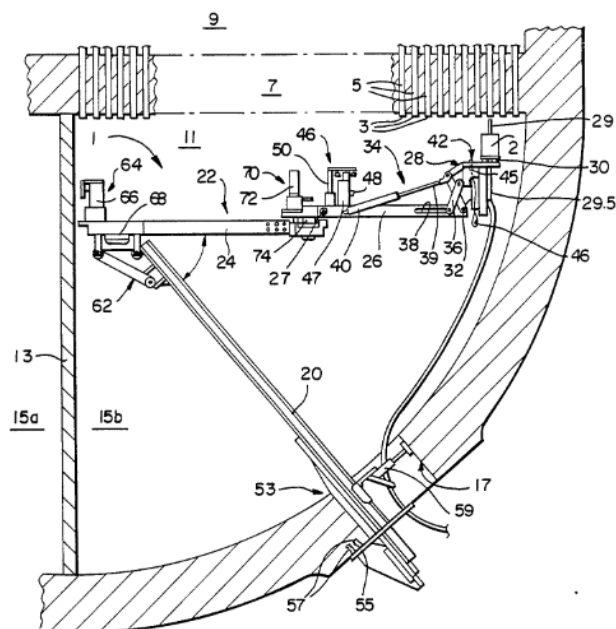


Slika 28. Radni položaji patenta US4919194A

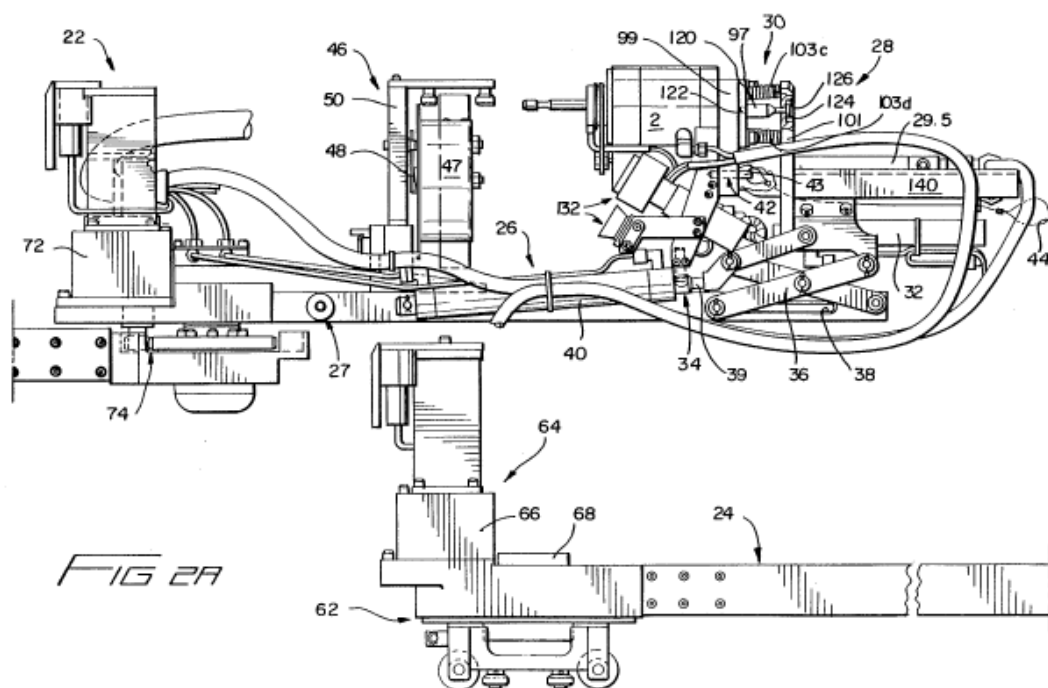
5.5. Patent US4945979A - 1980.

Patent opisuje robotsku ruku s alatom za začepljivanje cijevi PG. Robotska ruka sastavljena je od fiksnog nosača (20), okretnih nosača (24,26) te škarakastog mehanizma za dobavu čepova i

pozicioniranje alata (34). Postavlja se u PG u sklopljenom stanju. Fiksni nosač je vijcima pričvršćen na prirubnicu PG. Zglobni mehanizam (62) omogućuje otvaranje ruke kako bi se okretni nosači i škarasti mehanizam doveli u radnu poziciju horizontalnu sa stjenkom PG. Rotacijom okretnih nosača moguće je dobiti alat do svake cijevi.



Slika 29. Radni položaj patenta US4945979A

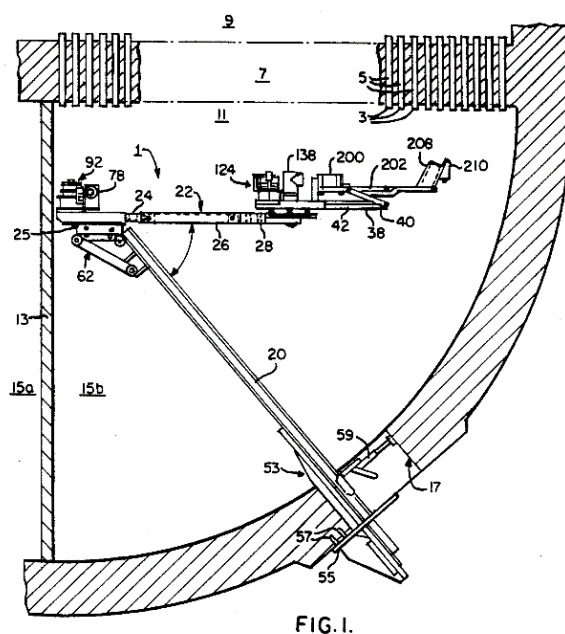


Slika 30. Detalj škarastog mehanizma i spremnika čepova patenta US4945979A

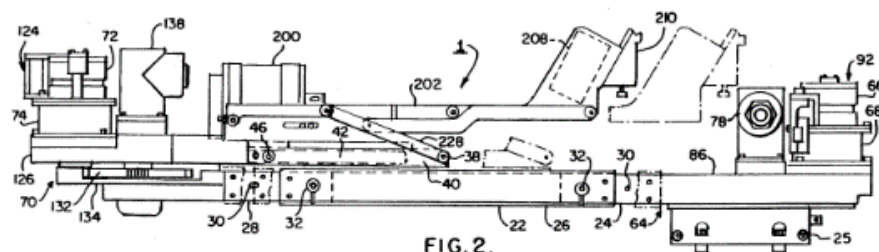
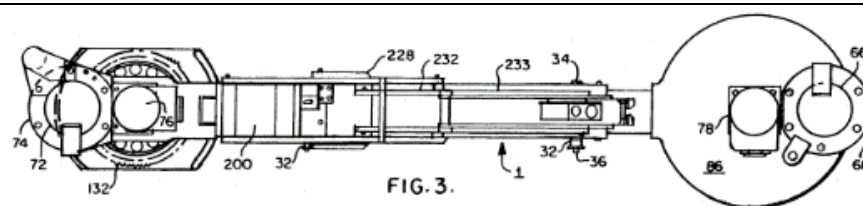
Pneumatski cilindar (40) pokreće škarasti mehanizam (36) koji na sebi ima pričvršćen alat za začepljivanje cijevi (2). Rotacijski spremnik (47) sadrži čepove za cijevi. Postolje alata (30) nalazi se na oprugama koje čine podatljivu spojku koja ima bitnu funkciju da alat ne bi zapeo. Nosači 24 i 26 načinjeni su tako da imaju više zajedničkih prolaznih provrta za svornjake. Zamjenom svornjaka u različite provrte moguće je jednostavno regulirati zajedničku duljinu nosača 24 i 26 za različite parogeneratore.

5.6. Patent US5265667A - 1993.

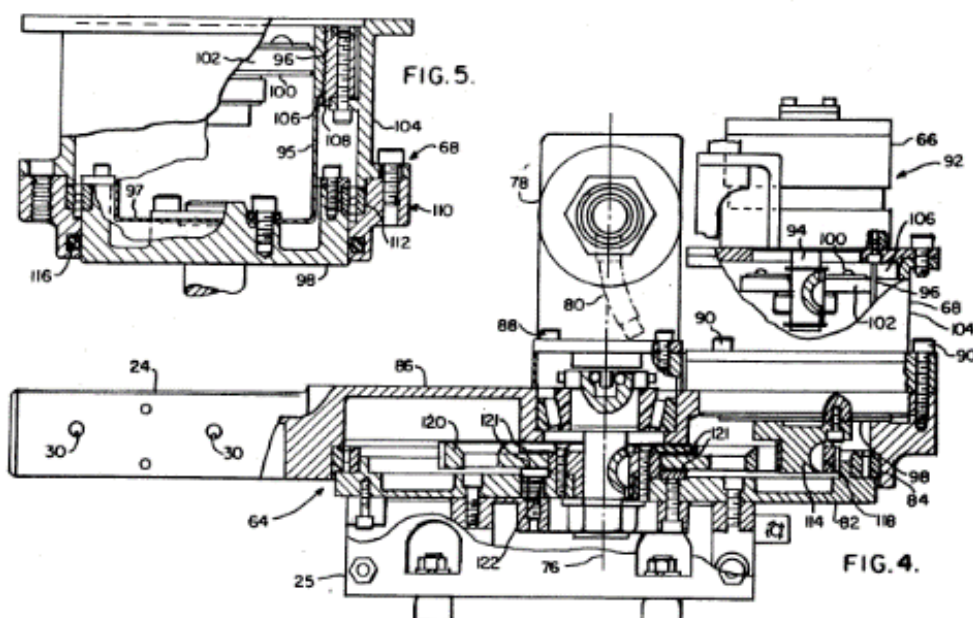
Ovaj patent nadovezuje se na prethodni na način da predstavlja rješenja odabrana za pogon okretnih nosača. Glavni zahtjevi su mala masa uz zadovoljavajući okretni moment te preciznost zakreta. Pogonski sklopovi 92 i 124 sastoje se od elektromotora, harmonijskog prijenosnika, jednostupanjskog reduktora te enkodera za utvrđivanje pozicije nosača. Pogonski sklopovi omogućavaju kompaktno sklapanje cijelog mehanizma (1) za dobavu alata na stjenku cijevi.



Slika 31. Radni položaj patenta US5265667A



Slika 32. Okretni nosač patenta US5265667A

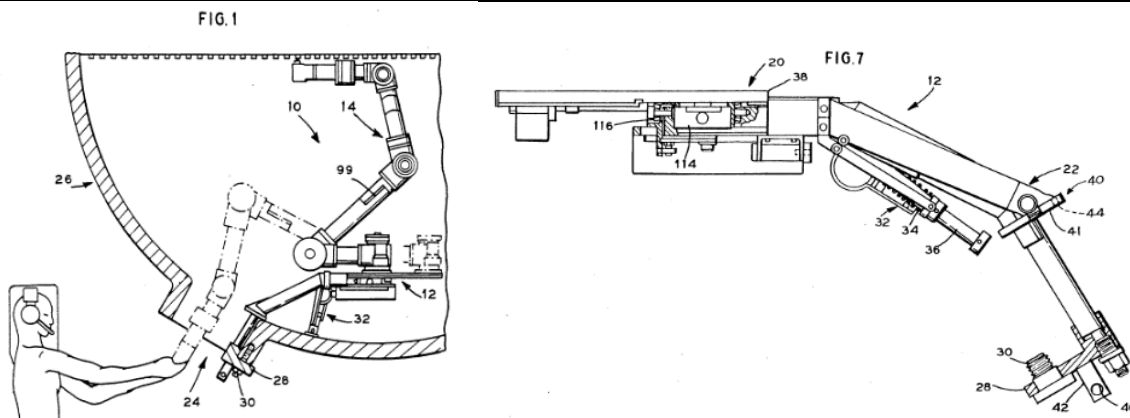


Slika 33. Okretni zglob sa harmonijskim prijenosnikom patenta US5265667A

Jednostupanjski reduktor ima ukomponiranu sigurnosnu taru spojku (122). U slučaju da alat zapne i time se vratila nosača optereće velikim okretnim momentom, spojka proklizi te omogućiti rotaciju većeg zupčanika (129) jednostupanjskog reduktora oko svoje osi.

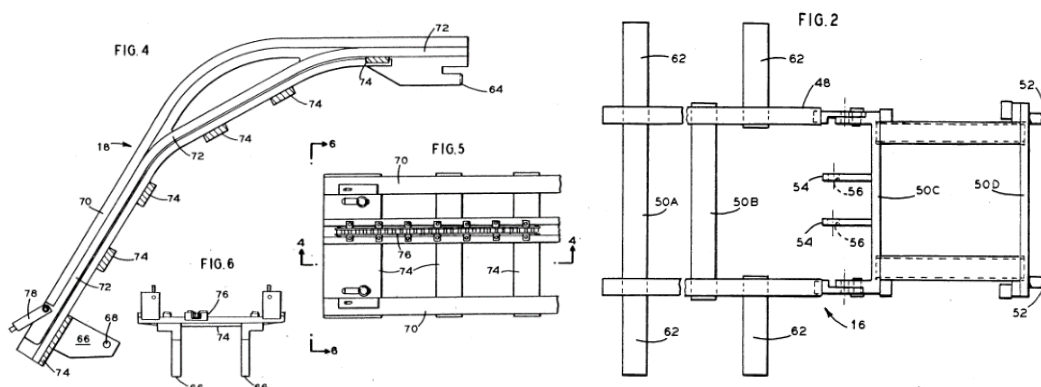
5.7. Patent US5178820A - 1993.

Patent US5178820A opisuje modularni mehanizam za dobavu robotske ruke s priključenim alatom unutar parogeneratora bez ulaza osoblja u prostor PG. Mehanizam omogućava također izmjene alata tako da robotska ruka stoji na svom postolju unutar PG dok osoblje izvan PG namješta alat na radni članak robotske ruke. Robotska ruka je modularna zbog lakše dobave u PG.



Slika 34. Proces ubacivanja robotske ruke patenta US5178820A

Temelj mehanizma je postolje (12) sastavljeno od radnog stola (20) i dva nosača koji stoje pod različitim kutom u odnosu na os prirubnice PG. Na donjem nosaču postoji priključak (28) pod pravim kutom kako bi se cijeli sklop mogao vijkom (30) spojiti na prirubnicu PG. Pomična noga (32) predstavlja dodatni oslonac cijelog postolja unutar PG. Uvlačenje noge kontrolira se elektromotorom i oprugom (34) tako da, kada noga dodiruje stjenku PG, opruga nije napregnuta. To omogućava korištenje samo jednog elektromotora za dvosmjerno kontroliranje noge. Postolje (12) ima na sebi provrte (44 i 46) kako bi moglo prihvatiti sklop za prijenos postolja (16) te sklop za prijenos prvog modula robotske ruke (18). Ova dva sklopa 16 i 18 služe dostavljanju postolja i prvog modula robotske ruke (99) unutar parogeneratora. Osoblje spaja sklop 16 i postolje 12 te ručno unosi u PG. Zatim se sklop 16 odvaja od postolja te osoblje prikopčava sklop za prijenos robotske ruke 18 na postolje 12. Sklop 18 ima linearne vodilice i mehanizam dobave preko lanca kako bi se robotska ruka mogla uvesti u parogenerator te prikopčati na radni stol 20. Tijekom operacije vožnje upravljačkom jedinicom drži se os modula 99 u središtu osi prirubnice parogeneratora. Po završetku vožnje osoblje ukopčava druge module (14) na robotsku ruku.



Slika 35. Vodilica za instalaciju robotske ruke (lijevo) te alat za instalaciju

5.8. Zaključak pretrage patenata

Pretragom patenata ustanovljeno je prevladavanje dvaju principa za dostizanje cijevne stjenke: uz pomoć ukliještenog nosača i robotske ruke te mobilnim manipulatorom kojeg se dobavlja i ostavlja na stjenci. Potrebno je smanjiti broj i skratiti trajanje svih operacija koje se zahtijevaju od operatera, te izbjeći korištenje nosača uležištenih samo na jednom kraju. Potrebno je smanjiti broj komponenti.

6. Razvoj uređaja za instaliranje ispitnog manipulatora u horizontalni parogenerator

Za razvoj novog proizvoda potrebno je izraditi tehnički upitnik i definirati ciljeve. Tehničkim upitnikom stvaraju se granice kojima se usmjerava razvoj te se na taj način sprječava mogućnost prevelikog broja rješenja koja nisu korisna. Definicija cilja koristi se pri definiranju činjenica na temelju kojih će se kreirati tehnička specifikacija. Ovakvim pristupom osigurava se pronalaženje skrivenih i eksplicitnih potreba, te se osigurava da slučajno neke kritične potrebe nisu zaboravljene ili promašene [29]. Za potrebe ovog rada tehnički upitnik napravljen je na temelju razgovora sa zaposlenicima tvrtke INETEC.

6.1. Tehnički upitnik za definiranje ciljeva razvoja proizvoda [29]

1. Što je stvarni problem koji treba riješiti?

Dostaviti Forerunner na stjenku parogeneratora uz što manji broj kompliciranih radnji i što manje fizičke aktivnosti radnika.

2. Koja implicitna očekivanja i želje je potrebno uključiti u razvoj?

Očekuje se zadovoljavanje uvjeta čvrstoće i krutosti uz što manju masu. Želja je da jedna osoba sama može prenositi, postaviti i koristiti uređaj.

3. Da li su pretpostavljene potrebe korisnika, funkcionalni zahtjevi i ograničenja zaista realni?

Da, jer se baziraju na iskustvu s postojećim uređajem.

4. U kojim smjerovima postoje mogućnosti za kreativni razvoj i inventivno rješavanje problema?

Moguće je koristiti pneumatske aktuatora principom slične ljudskim mišićima.

Moguće je razmisliti o uporabi materijala otpornog na štetan utjecaj radioaktivnog zračenja.

5. Ima li limita na kreativnost u razvoju?

Dolazi u obzir jedino upotreba mehaničke i pneumatske energije za različite pogone. Geometrija Forerunnera ograničava mjesta za prihvata pa time i veličinu komponenti. Servisni otvor ograničava maksimalnu veličinu uređaja.

6. Koje karakteristike/svojstva proizvod nužno mora imati?

Lakoća i intuitivnost korištenja, siguran prihvata Forerunnera, siguran prihvata na parogenerator. Mora omogućiti okretanje gornje osi Forerunnera u potpuno horizontalan položaj, te okretanje donje osi uređaja u potpuno vertikalni položaj.

7. Koje karakteristike/svojstva proizvod sigurno ne smije imati?

Uređaj ne smije biti težak i nezgrapan. Ne smije imati složenu trajektoriju kretanja.

8. Koji se aspekti razvoja mogu i trebaju kvantificirati u ovom trenutku?

Geometrijska ograničenja zbog servisnog otvora i pozicije parogeneratorsa nakon stavljanja van upotrebe u horizontalnu poziciju.

9. Da li su razvojni zadaci postavljeni na prikladnoj razini apstrakcije?

Želimo uhvatiti Forerunner, a za to ne moramo koristiti postojeće točke prihvata.

10. Koji su tehnička i tehnološka ograničenja naslijeđena iz prethodnog iskustva sa sličnim proizvodom?

Postojeći uređaj za instaliranje Forerunnersa ima samo jedan oslonac, i to na prirubnici parogeneratorsa, što znači da mora biti velikih dimenzija na mjestu samog oslonca.

Korištenje isključivo mehaničke i pneumatske energije. Površine uređaja u kontaktu sa Forerunnerom zaštićene kako ne bi oštetile Forerunner.

6.2. Definicija cilja [29]**Tablica 1. Definicija cilja uređaja**

DEFINICIJA CILJA ZA RAZVOJ PROIZVODA
Opis proizvoda:
Omogućiti dovođenje Forerunner uređaja bliže stjenci parogeneratorsa, precizno pozicioniranje, ostavljanje na stjenci, te ponovno preuzimanje nakon što se obavi ispitivanje cijevi.
Primarno tržište:
Tvrtke koje već posjeduju manipulator Forerunner, općenito nuklearni sektor
Pretpostavke:
Kompaktan volumen sklopova, parogenerator nakon upotrebe odmaknut iz radnog položaja i položen na tlo u horizontalan položaj. U spomenutom položaju središnja stjenka (eng. <i>divider plate</i>) stoji vertikalno. Tijekom ispitivanja cijevi servisni otvor mora biti prohodan. Promjer servisnog otvora limitira gabarite uređaja.
Ciljane grupe korisnika:
Operateri obučeni za provođenje ispitivanja u nuklearnim elektranama
Pravci kreativnog razvoja

Mehanizmi malog broja komponenti, pneumatski aktuatori različitih geometrija.
Limiti projekta
Materijali i njihova otpornost radijaciji, promjer servisnog otvora.

6.3. Lista za definiranje tehničke specifikacije [29]

Tablica 2. Tehnička specifikacija uređaja

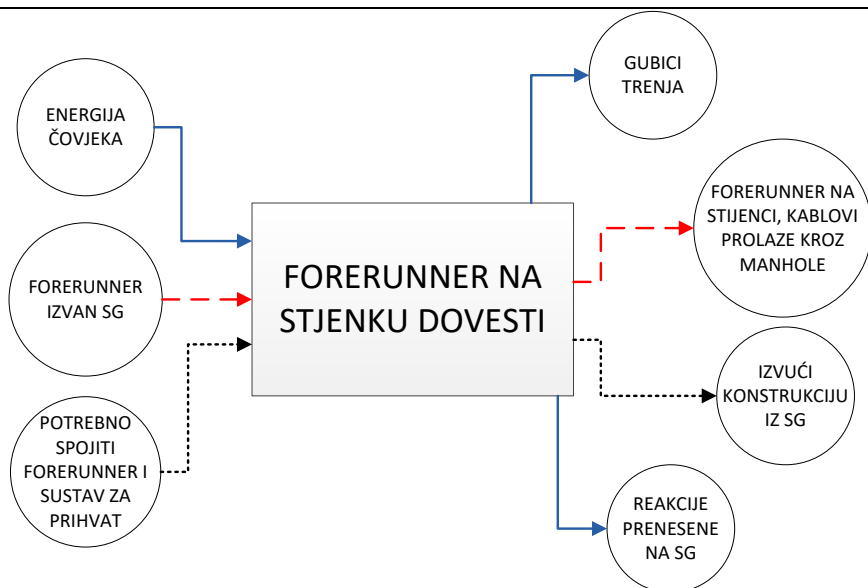
LISTA ZA DEFINIRANJE TEHNIČKE SPECIFIKACIJE	
Izvođenje: Uređaj mora sigurno prevoziti Forerunner. Težina prenesena na sustav vođenja mora biti manja od 330 N. Ne smije se oštetiti površina kućišta Forerunnera.	Materijali: Potrebni su AlMgSi1, Alumec 89, AlMg4, nehrđajući čelik. Izbjegavati halogene elemente.
Okolina: Značajan utjecaj radijacije tijekom upotrebe.	Standardi: Koristiti standarde kod primjena tehnologija glodanja i tokarenja. Koristiti što više standardnih dijelova.
Životni vijek i servisiranje: Životni vijek istovjetan Forerunnerovom.	Ergonomija: Tokom upotrebe uređajem se mora upravljati jednoznačno i sa što manjom mogućnošću zabune operatera.
Održavanje: Održavanje u obliku pranja nakon upotrebe i zamjena ugrađenih standardnih dijelova. Uvijek potrebno imati minimalnu količinu standardnih rezervnih dijelova u skladištu.	Kvaliteta i pouzdanost: Uređaj mora biti pouzdan, te dosjedne i bitne površine moraju biti fino obrađene.
Ciljani troškovi: 1/10 cijene Forerunnera	Skladištenje i spremanje: Potrebno zaštititi osjetljive površine elektrokemijskim postupcima. Po završetku upotrebe uređaj potrebno osušiti.

Transport: Dijelovi su dovoljno mali da se mogu ručno prenositi. Paziti na fino obrađene površine tijekom proizvodnje.	Testiranje: Uređaj potrebno testirati na testnom poligonu više puta prije isporuke.
Količina: Mala serija	Sigurnost: ALARA preporuka za zaštitu operatera
Proizvodnja: Ugovorena sa vanjskim suradnicima	Zakonska odgovornost: Proizvođač je odgovoran za mehanički integritet konstrukcije
Veličina i težina: Maksimalna masa uređaja 10 kg. Servisni otvor limitira maksimalnu veličinu uređaja.	Instaliranje: Jedna osoba može prenositi, sklopiti i instalirati uređaj. Mora biti osigurana ponovljivost instalacije u parogenerator
Izgled, pojava i završna obrada: Uređaj mora odavati siguran dojam, deformacije ne smiju biti jako vidljive.	Ponovno korištenje, recikliranje, odlaganje: Zbog zaprimljene doze zračenja potrebno paziti kod slanja materijala na reciklažu.

6.4. Generiranje koncepata

6.4.1. Funkcijska dekompozicija

U svrhu pronalaženja što više mogućih rješenja potrebno je kreirati funkcijsku dekompoziciju uređaja. Tim postupkom glavna funkcija uređaja rastavlja se na jednostavnije parcijalne funkcije koje proizvod mora zadovoljavati. Tako se lakše stječe uvid u kompleksnost uređaja te o međusobnim ovisnostima dijelova uređaja i tokovima energije, informacija i materijala. Cilj funkcijske dekompozicije je preslikavanje potreba u funkcionalni opis [29]. Funkcijska dekompozicija je prvi korak u generiranju koncepata. U nastavku glavna funkcija (eng. *black box*) uređaja. Parcijalne funkcije i njihove strukture priložene su na kraju ovog rada.





Slika 36. *Black box* model glavne funkcije uređaja

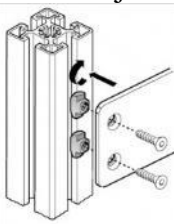
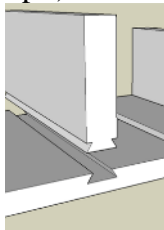

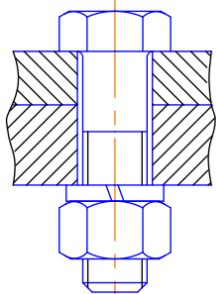


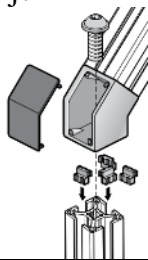


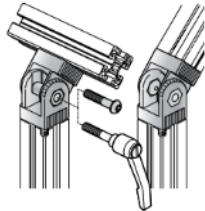
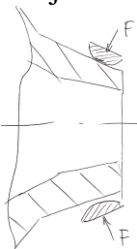

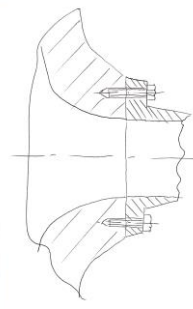
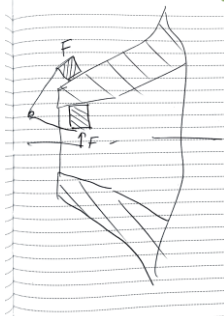

6.4.2. Morfološka matrica [30]

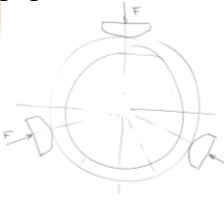
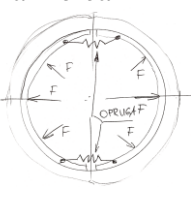
Drugi korak u generiranju koncepata je pronalaženje što više mogućih rješenja za pronađene pod funkcije te stvaranje morfološke matrice u kojoj su ta rješenja prikazana na jednostavan grafički način.

6.4.2.1. Nosiva konstrukcija

Tablica 3. Morfološka matrica nosive konstrukcije








1	ISPADANJE NAPRAVE IZ RUKE SPRIJEČITI	<p>Ručka</p> 	<p>Ručka s utorom</p> 	<p>Izglodani utor u bloku materijala</p> 	<p>Profil koji je moguće obuhvatiti rukom</p> 
---	--------------------------------------	--	---	---	---

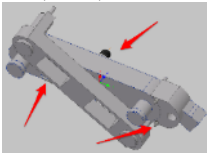
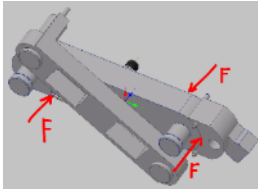
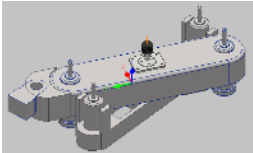
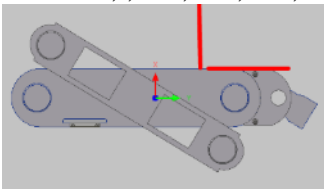
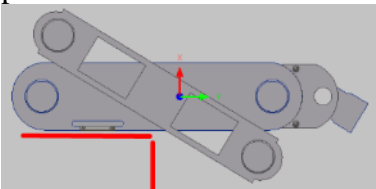



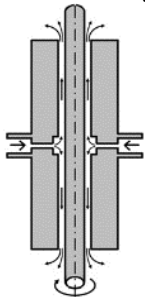
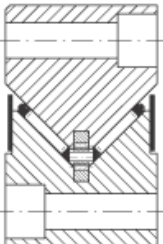
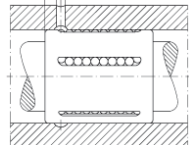

2	MEĐUSOBNO SPAJANJE DIJELOVA NOSIVE KONSTRUKCIJE OMOGUĆITI	Vijčanim spojevima - Bosch T vijci	Oblikom (lastin rep npr.)	Stezaljka	Vijčanim spojevima
					
3	KUT ZAKRETA NOSAČA U ODNOSU NA STJENKU OSIGURATI	Kopča	Zavareno	Bosch kutni elementi i T vijci	
					
4	NOSIVU KONSTRUKCIJU NA PRIRUBNICU SPOJITI	Elementi s kosinom konstantnog nagiba	Lučni segment	Kutni element za zaključavanje	
					
4	NOSIVU KONSTRUKCIJU NA PRIRUBNICU SPOJITI	Izvana na cilindar manholea radijalno	Pritiskom na cijev maholea iznutra radijalno	Spojeno na prirubnicu	Stisnuti stjenku u dvije točke sa više čeljusti
					
		Spoj oblikom, napregnut			
					

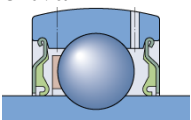
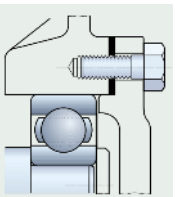
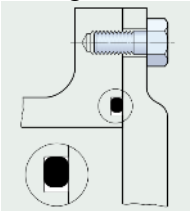
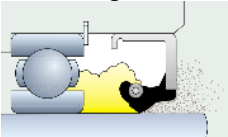

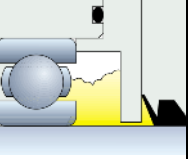
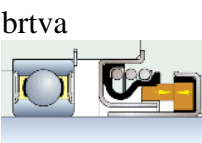

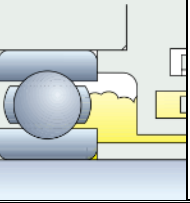




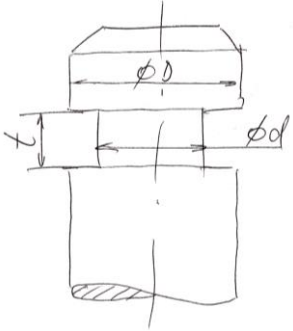



5	NOSIVU KONSTRUKCIJU NA SG CENTRIRATI	Dodirom u minimalno 3 točke povezanim papučama	Cilindar na unutrašnji promjer manholea	Ne centrirati	Centriranje vijcima
					

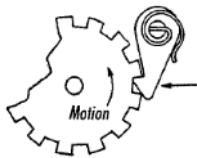

6.4.2.2. Sustav za prihvat

Tablica 4. Morfološka matrica sustava za prihvat

6	ENERGIJU ZA PRIHVAT FORERUNNERA PROIZVESTI	Pneumatika dostupna zbog Forerunnera K1, K5, K6, K7 	Mehanički - okretanjem volana i bubnja K3 K4 	Povlačenjem užeta zamotanog na bubnju 	Stiskanjem kliješta 
		Poluga za natezanje užeta  K2			
7	ENERGIJU ZA PRIHVAĆANJE FORERUNNERA VODITI	Komprimirani zrak K1 K5, K6, K7	Vratilo (puno, šuplje) 	Čelično uže Bowden K2 	Savitljivo vratilo K4 
		Vreteno s maticom K4, 			












8	PRIHVAT FORERUNNERA OMOGUĆITI	Prihvat na gljivu, pravokutni otvor i svornjake K1, , K4, K5, K6, K7		Normalnim silama na kućište Forerunnera K1, K4, K5, K6, K7	Upotrebom grippera na Forerunneru
					
		Nosačem između prihvata alata i kućišta			
9	PROMJENU KUTA IZMEĐU OSI OMOGUĆITI	Sklopovi u kvadrantu bliže prihvatu alata K1, , K2, K3, K4, K5, K6, K7		Sklopovi u kvadrantu dalje od prihvata alata	
					
10	GUBITKE TRENJA PRIHVATA SMANJITI	Valjni ležaj K3			Klizne površine K1, , K2, K7
		 K6	Klizni ležaj		
			Sferni klizni ležaj u kućištu		
		Zračni ležaj	Flat cage guidance systems	Linear ball bearings	Klizni linearni ležaj
					 K4 I PAT K5


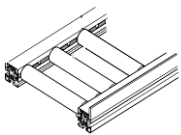


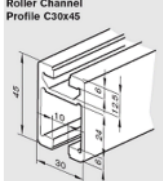
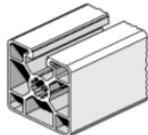




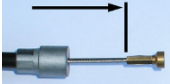

11	LEŽAJEVE KOD PRIHVATA BRTVITI				
		Kontaktna brtva 	Plosnata brtva K3 	O ring 	Semering 
		Lip seal  double-lip seal (RS design) K4	V prsten 	Mehanička brtva 	Balseal brtva 
		Ne brtviti K1, K2, K5, K7	Labirintna brtva K6 	Brtva za linearni ležaj 	
12	FORERUNNERA OD ISPADANJA OSIGURATI	Pneumatskom stezaljkom K1 	Mehanička kočnica - trenjem K3 K4 K5 	 Festo rotary pneumatski modul K6	Promjenom oblika 
		Mehanička sklopka za pozicioniranje s oprugom 	Samokočnost mehanizma	Kombinacij a stlačenog zraka i opruga 	Festo stezaljka pneumatska K7 

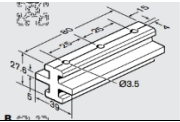
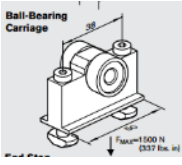


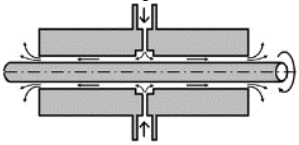







		Mehanička stezaljka K2	Sigurnosni mehanizam kao kod vitla - oblikom 	Festo kombinacija rotacijskog i linearnog modula 	
--	--	------------------------	---	--	--

6.4.2.3. Sustav dobave

Tablica 5. Morfološka matrica sustava dobave

















13	ENERGIJU ZA VOĐENJE PROIZVESTI				
		Pneumatika dostupna zbog Forerunnera 	Čovjek guranjem K2, K4, K6 	Mehanički - okretanjem volana K1, K3, K5 	Povlačenjem užeta zamotanog na bubnju 
14	ENERGIJU ZA VOĐENJE PRENOSITI				
		Komprimirani zrak 	Vratilo (puno, šuplje) 	Čelično uže Bowden K3, K6 	Savitljivo vratilo 
		Remenski prijenos K1, 	Lančani prijenos K5 	Teleskopski štap K2, K4, K6 	


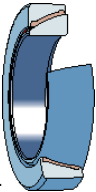
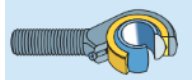

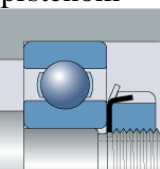
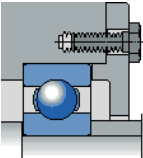
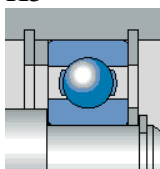
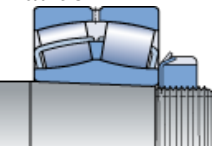
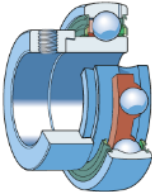
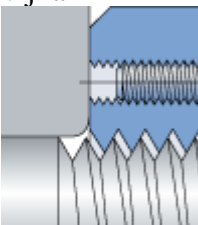
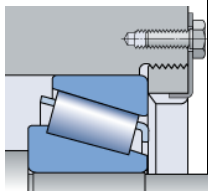
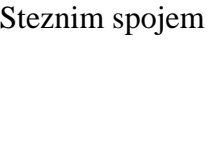
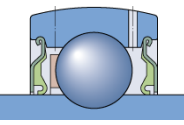
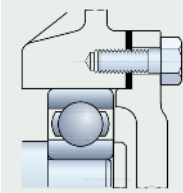
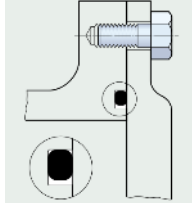
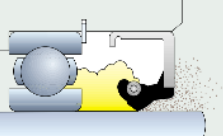
15	UDALJENOST IZMEĐU PRIRUBNICE I STJENKE PREMOSTITI				
		Jedan nosač K1 K3 K5, K6 	Dva nosača K2, K4 	Više nosača 	
		Presjek nosača			
		Okrugli šuplji presjek K4 	Profil sa naslonom za valjni ležaj K2 	Aluminijski profil s utorima K6, K1, K3, K5 	
16	FORERUNNER VODITI				
		Klizno postolje oslonjeno na profil K5, K3, K1, K6	Klizno postolje visi s profila K2, , K4		
17	VOĐENJE LIMITIRATI	Osnovni principi rješenja			
		Regulacijom pneumatike- prekidačem 	Uskočnik K4 	Mehanička sklopka s oprugom K2, K4, K6 	Gumeni odbojnik K1, K3 
		Dužinom užeta K3 	Bosch vijci u profilu K5 		

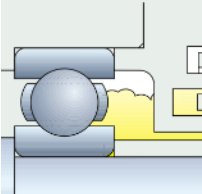
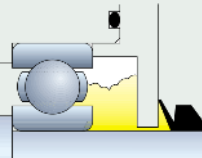
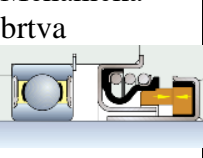

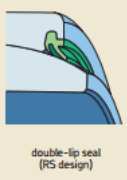



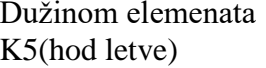


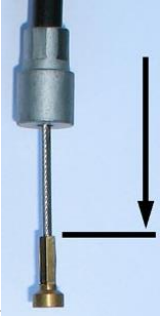
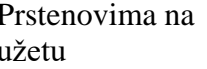




18	GUBITKE TRENJA VOĐENJA SMANJITI	<div> <div> Klizni ležaj DELRIN (DuPont) K1, K3, K5, K6  </div> <div> Valjni ležaj Bosch K2  </div> <div> Klizni linearni ležaj  </div> <div> Linearni kuglični K4 ležaj  </div> </div>			
		Zračni ležaj 	Valjni ležaj u sklopu po mjeri 		
19	NAPUŠTANJE KRAJNJE POZICIJE ONEMOGUĆITI	<div> <div> Ručno upravljana mehanička kočnica izvan SG K1 K3 K5  </div> <div> Mehanička sklopka s oprugom K2 K4, K6  </div> </div>			
20	REAKCIJE VOĐENJA PRENIJETI	<div> <div> Klizno postolje uležišteno u 2 točke na profilu K1, K3, K4, K5  </div> <div> Klizno postolje uležišteno u 3 točke na profilu K2  </div> <div> Klizno postolje uležišteno u 4 točke na profilu  </div> <div> Klizno postolje uležišteno u liniji K6  </div> </div>			




6.4.2.4. Sustav pozicioniranja



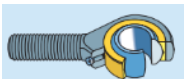

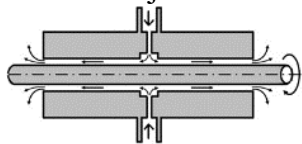

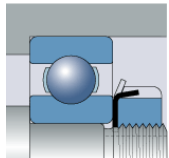
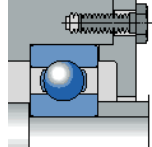
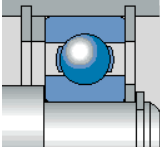
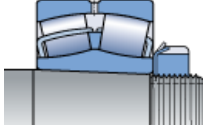
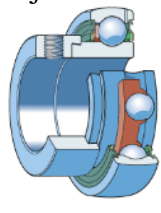
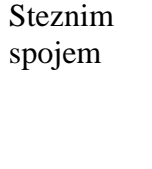
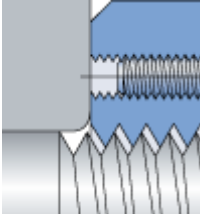
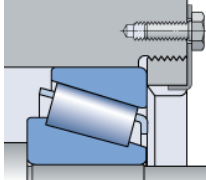
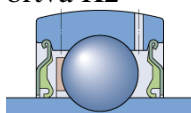
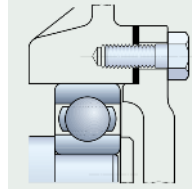
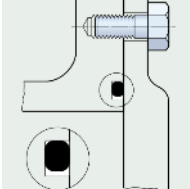
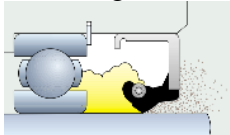
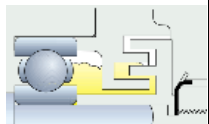
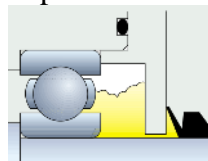


Tablica 6. Morfološka matrica sustava pozicioniranja

21	ENERGIJU ZA ZAKRETANJE PROIZVESTI				
		<p>Pneumatika dostupna zbog Forerunnera K1, K2</p> 	<p>Stiskanjem kliješta</p> 	<p>Mehanički - okretanjem volana K3</p> 	<p>Poluga za natezanje užeta K4 K5</p> 
22	ENERGIJU ZA ZAKRETANJE DO FORERUNNERA PRENIJETI				
		<p>Komprimirani zrak K1, K2</p> 	<p>Vratilo (puno, šuplje)</p> 	<p>Čelično uže Bowden K4 K5</p> 	<p>Savitljivo vratilo K3</p> 
		<p>Remenski prijenos</p> 		<p>Lančani prijenos</p> 	
23	ROTACIJU IZVRŠITI				
		<p>Festo rotacijski pneumatski pogon K1</p> 	<p>Festo linearni aktuator (ili mišić) K2</p> 	<p>Povlačenjem poluge oko rotacijskog oslonca</p> 	<p>Rotacijom bubnja K4</p> 
		<p>Zupčanički par K3</p> 	<p>Zupčanik i zupčasta letva K5</p> 		

24	GUBITKE TRENJA ROTACIJE FORERUNNERA SMANJITI				
		Valjni ležaj  K1 K3	Klizni ležaj  K4	Sferni klizni ležaj K2 	Ležaj u kućištu K5 
25	LEŽAJEVE KOD ROTACIJE FORERUNNERA OSIGURATI				
		Maticom i prstenom 	Poklopcem i vijcima K1, K3 	Uskočnikom K5 	Nagibom vratila i maticom 
26	LEŽAJEVE KOD ROTACIJE BRTVITI				
		Radijalnim vijkom  YET 2	Kombinacijo m maticice i vijka 	Maticom na unutrašnjem promjeru K2, K4 	Steznim spojem 
26	LEŽAJEVE KOD ROTACIJE BRTVITI				
		Kontaktna brtva 	Plosnata brtva K2 	O ring K1 	Semering K5 

		Labirintna brtva K4 	V prsten 	Mehanička brtva 	Balseal brtva K3 
		Lip seal K2  K5			
27	ROTACIJU LIMITIRATI				
		Mehanička sklopka s oprugom 	Ograničenje rotacije odbojnicima Festo K1 	Oblikom utora u osloncu K3 	Dužinom elemenata K5(hod letve) 
		Gumeni odbojnik  K4	Ograničenje translacije dužinom klipa Festo K2 	Dužinom užeta  K4	Prstenovima na užetu 
28	ENERGIJU ZA ZAKRETANJE GORNJE OSI PROIZVESTI				
		Pneumatika dostupna zbog Forerunnera K3, K4 	Mehanički - okretanjem volana K2 K5 	Povlačenjem užeta zamotanog na bubnju 	Pritiskanjem kliješta 

		Koristeći rotaciju Forerunnera		Poluga za natezanje užeta K1	
29	ENERGIJU ZA ZAKRETANJE GORNJE OSI DO FORERUNNERA PRENIJETI				
		Komprimirani zrak K3, K4	Vratilo (puno, šuplje) 	Čelično uže Bowden K1, K2 K5	Savitljivo vratilo 
		Remenski prijenos 	Lančani prijenos 		
30	DOVOĐENJE GORNJE OSI U HORIZONTALAN POLOŽAJ OMOGUĆITI				
		Festo rotacijski pneumatski pogon 	Mehanizam aktuiran Festo linearnim aktuatorom (ili mišićem) K3, K4 	Rotacijom bubnja 	Princip kočnice za bicikl -potezanje sajle oko oslonca K1, K2, K5 
		Zupčanik i zupčasta letva 	Zupčanički par 	Mehanizam sa kosinama 	

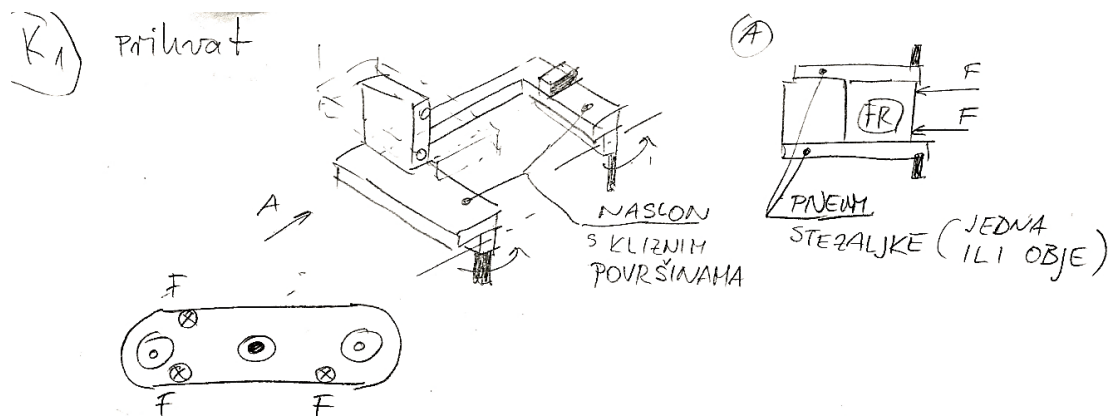
31	GUBITKE TRENJA KOD ROTACIJE GORNJE OSI SMANJITI				
		Valjni ležaj K2 	Klizni ležaj 	Sferni klizni ležaj K1 K3 K4 K5 	Ležaj u kućištu 
		Zračni ležaj 	Okretni ležaj K4 		
32	LEŽAJEVE KOD ROTACIJE GORNJE OSI OSIGURATI				
		Maticom i prstenom K2 K4 	Poklopcem i vijcima 	Uskočnikom K3 K4 K5 	Nagibom vratila i maticom 
		Radijalnim vijkom  VET 2	Steznim spojem 	Kombinacijo m matice i vijka 	Maticom na unutrašnjem promjeru 
33	LEŽAJEVE KOD ROTACIJE GORNJE OSI BRTVITI				
		Kontaktna brtva K2 	Plosnata brtva 	O ring 	Semering 
		Labirintna brtva 	V prsten 	 Lip seal K3 K4 K5	Balseal brtva  K31 series

Treći korak metodologije je spajanje tih tehničkih rješenja u koncepte koji zadovoljavaju funkcijske zahtjeve. U ovom koraku dolaze do izražaja znanje i kreativnost inženjera, pošto su generirani koncepti baza za evoluciju bilo kojeg proizvoda [30].

U konzultaciji s naručiteljem i mentorom odlučeno je da će se koncipirati samo sustavi za prihvata, pozicioniranje i vođenje.

6.4.3. Sustav za prihvata - 7 koncepata

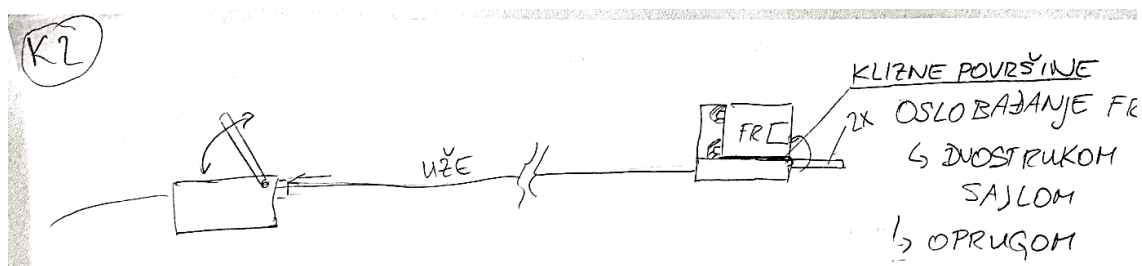
6.4.3.1. Koncept 1



Slika 37. Koncept 1 sustava prihvaata

Aktivacija stezaljke vrši se zrakom ili oprugom. Deaktivacija stezaljke zrakom. Sve površine Forerunnera zaštićene trakicama Delrina. Pinovi centriraju nosač s Forerunnerom, minimalno 2 stezaljke ispred i straga

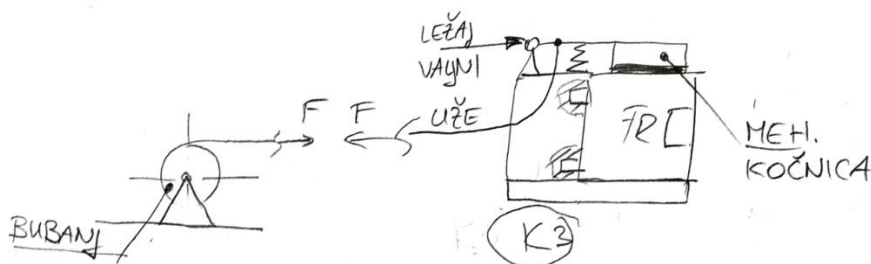
6.4.3.2. Koncept 2



Slika 38. Koncept 2 sustava prihvaata

Uže u bužiru (kao sajla od bicikla). Natezačem užeta stvara se vlačna sila za aktivaciju stezaljke. Postoje dvije stezaljke i to samo s donje strane Forerunnera.

6.4.3.3. Koncept 3

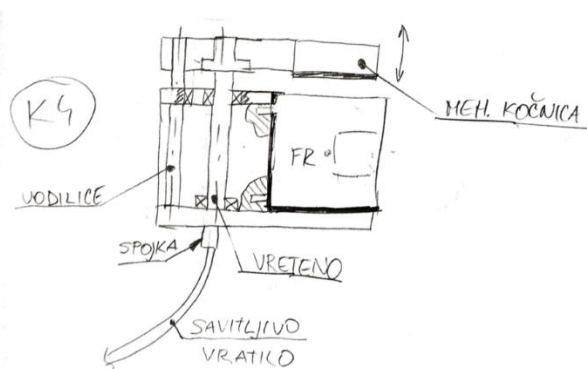


Slika 39. Koncept 3 sustava prihvata

Okretanjem bubnja stvara se vlačna sila u užetu, bubanj se blokira kočnicom. Vlačna sila stvara moment oko oslonca i preko papuče i poluge klase 3 vrši pritisak na stjenku Forerunnera. Oprugom se kočnica otvara. Uže je u bužiru kao sajla od bicikle - potrebno uležištiti.

Broj poluga i užeta - 1 komad, pozicioniran kod pinova.

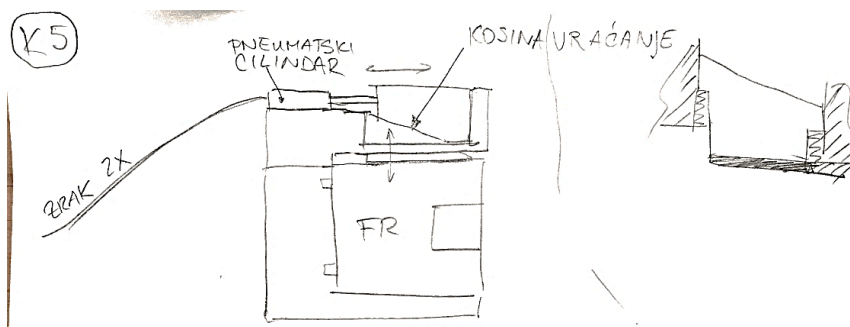
6.4.3.4. Koncept 4



Slika 40. Koncept 4 sustava prihvata

Rotacija volana stvara torzijski moment, prenošen do vretena savitljivim vratilom. Samokočno vreteno i vodilica dvostruko uležišteni, mehanička čeljusti pritišće kućište Forerunnera kod pinova.

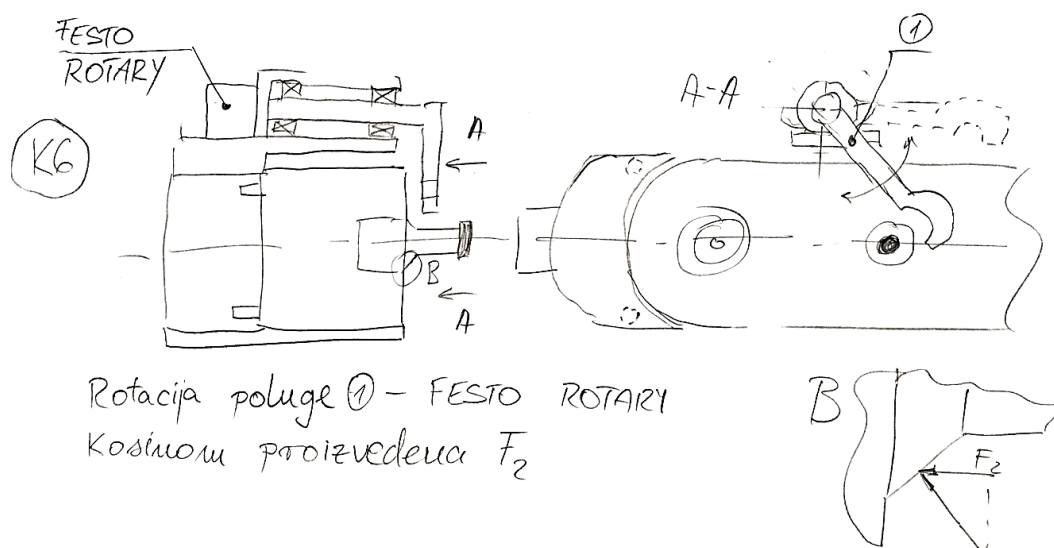
6.4.3.5. Koncept 5



Slika 41. Koncept 5 sustava prihvata

Pneumatski cilindar s dvostrukim djelovanjem pritišće sklop kosina čime se ostvaruje normalna sila na kućište Forerunnera. Sklop kosina postavljen na segment Forerunnera gdje su pinovi. Povrat kosina osiguran oprugama.

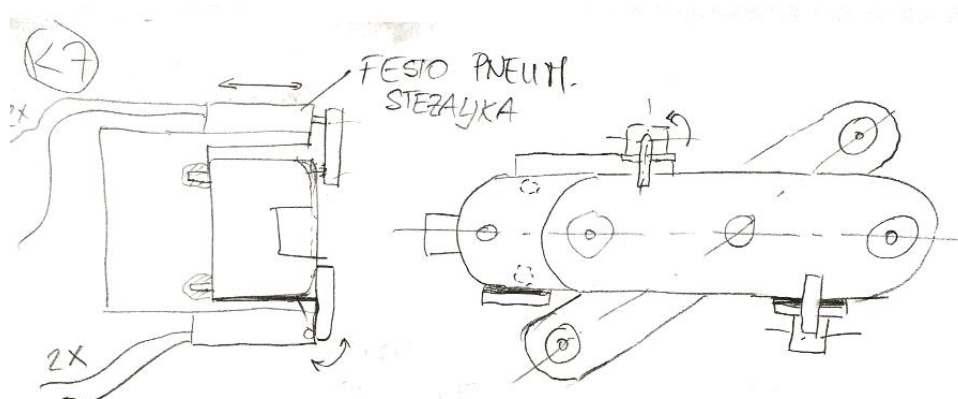
6.4.3.6. Koncept 6



Slika 42. Koncept 6 sustava prihvata

Pneumatski Festo rotacijski modul okreće ručicu koja se oslanja na gljivu. Na sklopu gljive postoji mala kosina te ona stvara silu za osiguranje od ispadanja. Ručica je uležištena zasebno kako bi se smanjila opterećenja na rotacijski modul.

6.4.3.7. Koncept 7

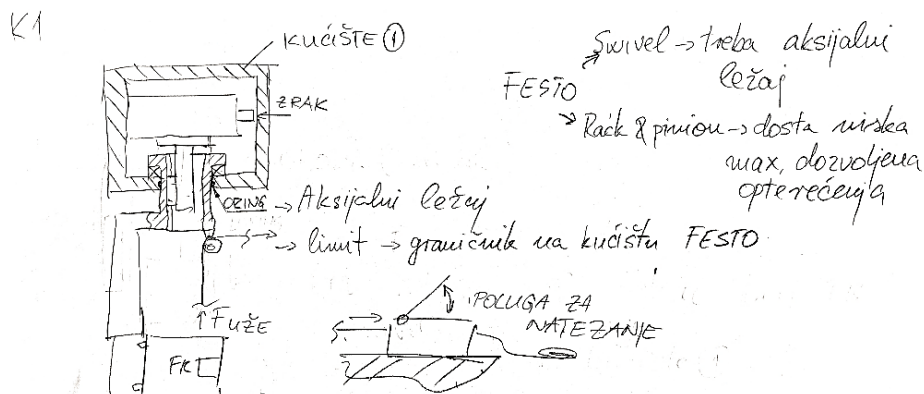


Slika 43. Koncept 7 sustava prihvata

Pneumatska Festo stezaljka (rotacija + translacija) pritišće kućište Forerunnera. Može pritiskati segment kod pinova ili između prednje stezaljke i gljive (ali da dopusti rotaciju donje osi na 90° u odnosu na glavnu os)

6.4.4. Sustav za pozicioniranje - 5 koncepata

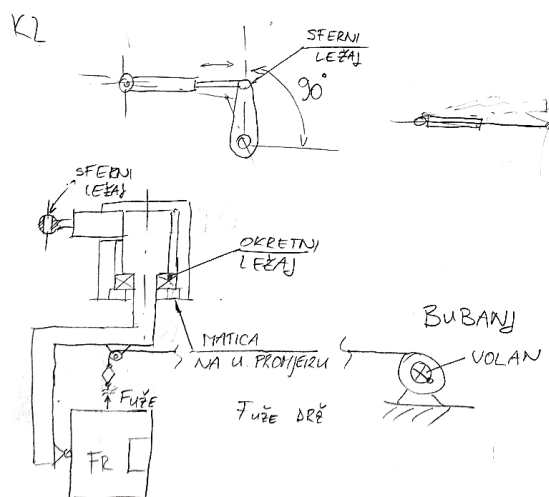
6.4.4.1. Koncept 1



Slika 44. Koncept 1 sustava za pozicioniranje

Festo modul za rotaciju aktiviran pneumatikom. Ležaj preuzima određena opterećenja kako bi se ona smanjila na modulu za rotaciju. Konstrukcija pridržava Forerunner s jedne strane, dok s druge strane pridržava uže aktivirano natezačem. Sila u užetu drži Forerunner na unaprijed utvrđenom nagibu kako bi mogao proći kroz otvor parogeneratora. Nakon dolaska u krajnju poziciju, natezačem se otpušta unaprijed utvrđenu duljinu užeta kako bi se gornja os spustila u horizontalan položaj. Uže zaštićeno bužirom.

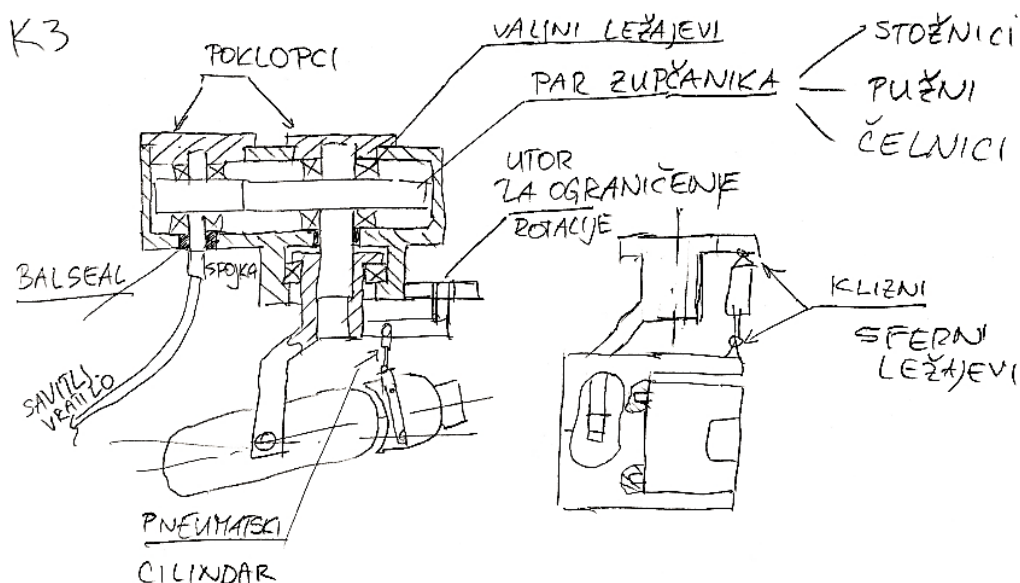
6.4.4.2. Koncept 2



Slika 45. Koncept 2 sustava za pozicioniranje

Pneumatski dvoradni cilindar okreće ručicu oko zgloba stvarajući moment za rotaciju, okretni ležaj u kućištu preuzima opterećenja. Sila u užetu drži FR na unaprijed utvrđenom nagibu kako bi mogao proći kroz otvor SG. Nakon dolaska u krajnju poziciju, okretanjem volana se otpušta unaprijed utvrđenu duljinu užeta kako bi se gornja os spustila u horizontalan položaj. Uže je moguće zakočiti. Uže zaštićeno bužirom.

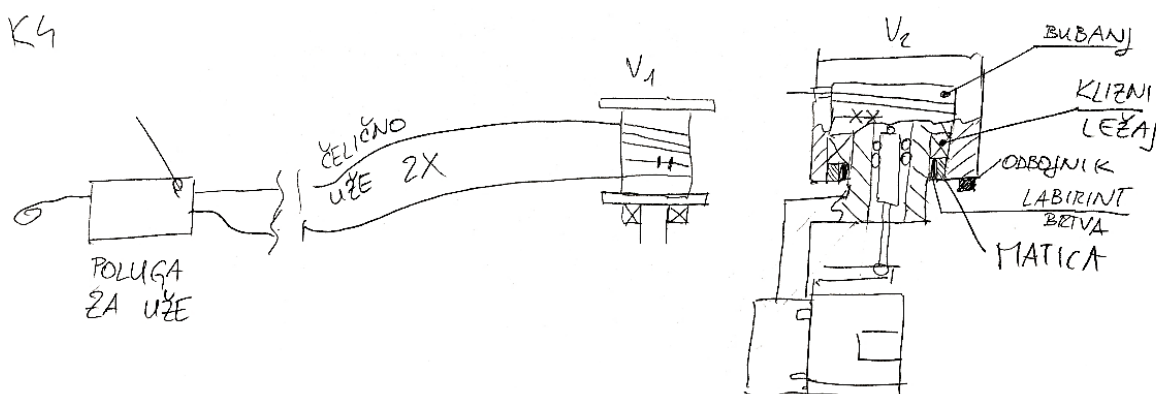
6.4.4.3. Koncept 3



Slika 46. Koncept 3 sustava za pozicioniranje

Zupčanički par pokretan savitljivim vratilom vrši rotaciju Forerunnera. Savitljivo vratilo pogoni se volanom izvan parogeneratora. Vratilo zaštićeno buzirom. Kućište sadrži sve potrebne ležajeve i brtve. Rotacija je ograničena svornjakom koji se giba kroz provrt oblika kružnog luka. Pneumatski cilindar dvoradni drži Forerunner na unaprijed utvrđenom nagibu kako bi mogao proći kroz otvor SG, te u krajnjoj poziciji spušta gornju os u horizontalan položaj

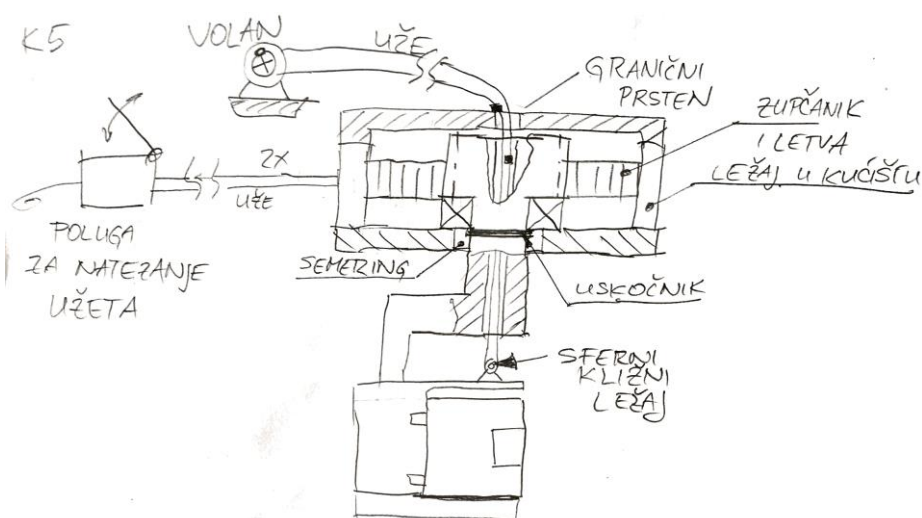
6.4.4.4. Koncept 4



Slika 47. Koncept 4 sustava za pozicioniranje

Natezačem užeta pokreće se bubanj za rotaciju Forerunnera. Dva užeta služe za rotaciju u oba smjera. U kućištu se nalazi bubanj na kliznom ležaju, te kroz bubanj prolazi pneumatski cilindar. Pneumatski cilindar dvoradni drži Forerunner na unaprijed utvrđenom nagibu kako bi mogao proći kroz otvor SG, te u krajnjoj poziciji spušta gornju os u horizontalan položaj. Rotaciju ograničava gumeni odbojnik. Uže zaštićeno buzirom.

6.4.4.5. Koncept 5

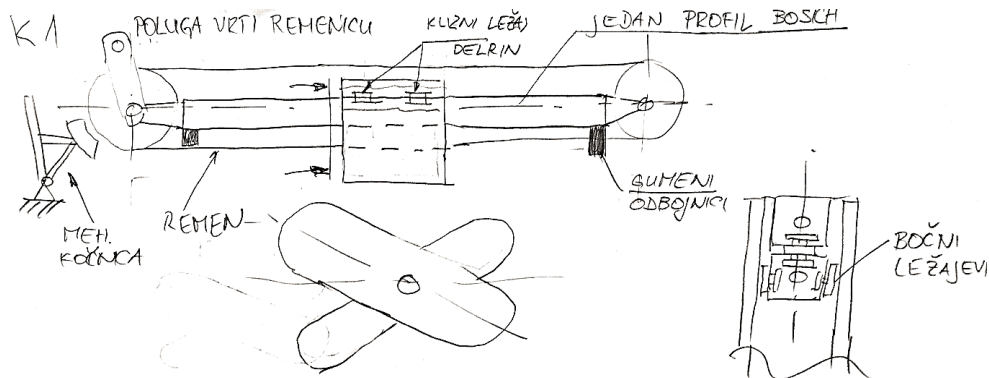


Slika 48. Koncept 5 sustava za pozicioniranje

Natezačem užeta pokreće se zupčasta letva, koja pokreće zupčanik za rotaciju Forerunnera. Dva užeta služe za rotaciju u oba smjera. U kućištu se smještene zupčasta letva i zupčanik, te odgovarajući ležaj. kroz provrtu u zupčaniku prolazi uže pokretano volanom, čime se utvrđuje nagib Forerunnera u odnosu na horizontalu. Na užetu su postavljeni graničnici kako bi se ograničila rotacija Forerunnera u odnosu na horizontalu. Uže zaštićeno bužiom.

6.4.5. Sustav dobave - 6 koncepata

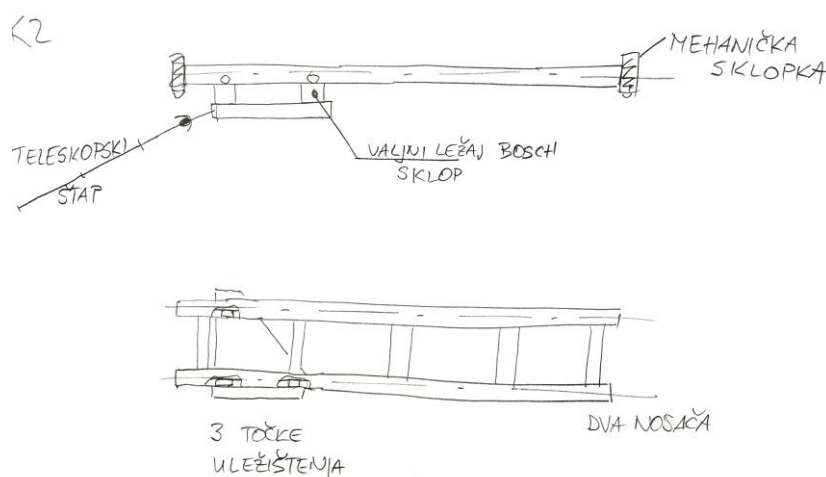
6.4.5.1. Koncept 1



Slika 49. Koncept 1 sustava dobave

Operater ručkom vrti remenicu. Zupčasti remen prenosi rotaciju bez proklizavanja na Klizno postolje. Klizno postolje je uležišteno na jedan Bosch profil uz pomoć Delrin kliznih ležajeva. Postoje 3 ležaja, 2 bočna i jedan na koji se klizno postolje naslanja, čime se prenosi vertikalna sila. Mehanička kočnica blokira remenicu čime se klizno postolje zaustavlja. Zbog kliznih ležajeva i horizontalnog položaja nosača, postolje miruje ako se na njega ne dovodi snaga preko remenice. Dva gumena odbojnika služe amortiziranom zaustavljanju kliznog postolja.

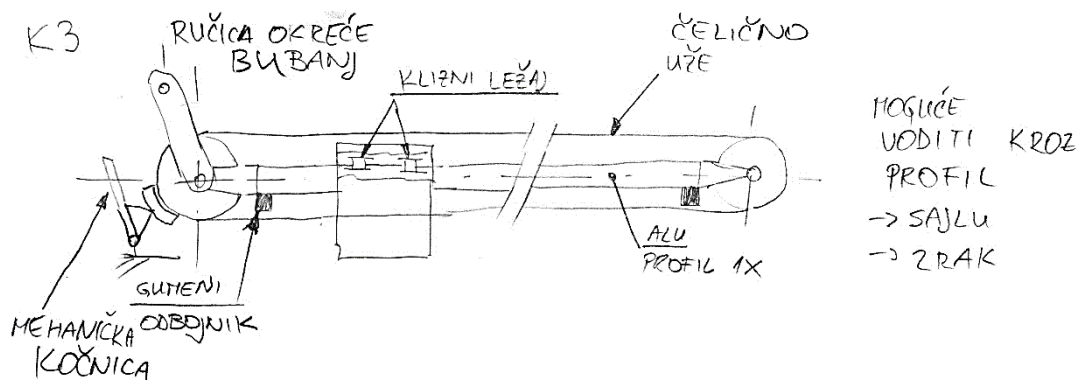
6.4.5.2. *Koncept 2*



Slika 50. Koncept 2 sustava dobave

Operator ima segmente teleskopskog štapa te njihovim spajanjem do duljine otprilike 2 m gura klizno postolje sa prikopčanim Forerunnerom. Klizno postolje je uležišteno na 3 sklopa kotača Bosch tako da su dva bliže težištu Forerunnera. Nosač je sastavljen od 2 Bosch profila proizvedenih upravo za vođenje tim kotačima. Dva profila spojena su međusobno te u tlocrtu izgledaju kao ljestve. Osiguranje na početku i na kraju trase vrši se mehaničkom sklopkom s oprugom. Zbog horizontalnog položaja i aktivacijom sklopki klizno postolje je osigurano od neželjenog gibanja. Na kraju štapa je mala kuka te prilikom izvlačenja operator štapom dohvaća klizno postolje te povlači van.

6.4.5.3. *Konzept 3*

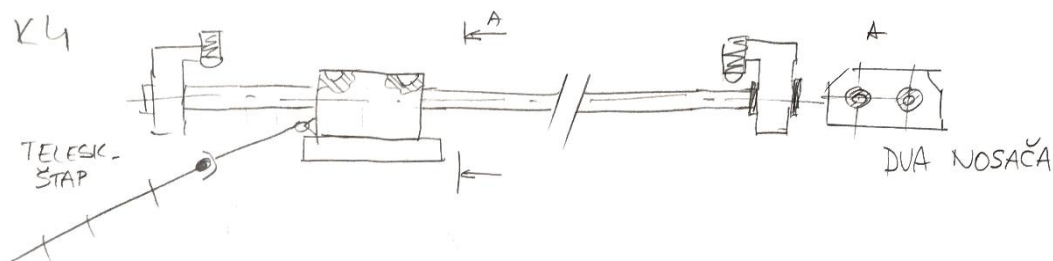


Slika 51. Koncept 3 sustava dobave

Operater ručkom vrti remenicu. Čelično uže prenosi rotaciju na klizno postolje. Klizno postolje je uležišteno na jedan Bosch profil uz pomoć Delrin kliznih ležajeva. Postoje 3 ležaja, 2 bočna i jedan na koji se klizno postolje naslanja, čime se prenosi vertikalna sila. Mehanička kočnica blokira remenicu čime se klizno postolje zaustavlja. Zbog kliznih ležajeva i horizontalnog

položaja nosača, klizno postolje miruje ako se na njega ne dovodi snaga preko užnice. Dva gumena odbojnika služe amortiziranom zaustavljanju kliznog postolja.

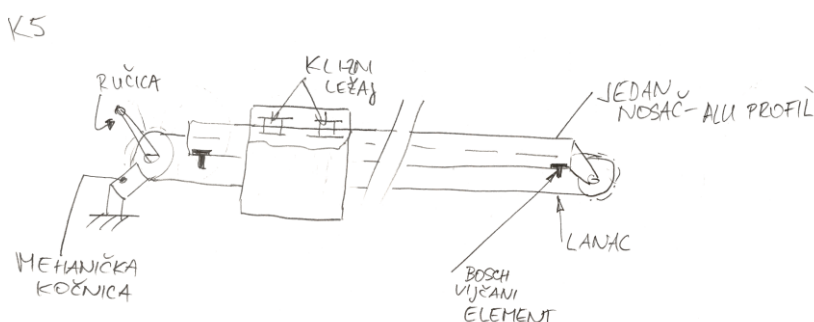
6.4.5.4. Koncept 4



Slika 52. Koncept 4 sustava dobave

Operator ima segmente teleskopskog štapa te njihovim spajanjem do duljine otprilike 2 m gura. Klizno postolje sa prikopčanim FR. Klizno postolje je uležišteno na kućište koje u sebi ima valjne ležajeve za translacijska gibanja. Nosač je sastavljen od 2 kružna puna/prazna profila maksimalnog promjera 30 mm. Dva kružna profila povezana su na početku i kraju trase. Mehaničke sklopke smještene na početku i kraju trase uglave se u kućište s ležajevima čime se osiguravaju krajnje pozicije. Zbog horizontalnog položaja i aktivacijom sklopki klizno postolje je osigurano od neželjenog gibanja. Na kraju štapa je mala kuka te prilikom izvlačenja operator štapom dohvaća klizno postolje te povlači van.

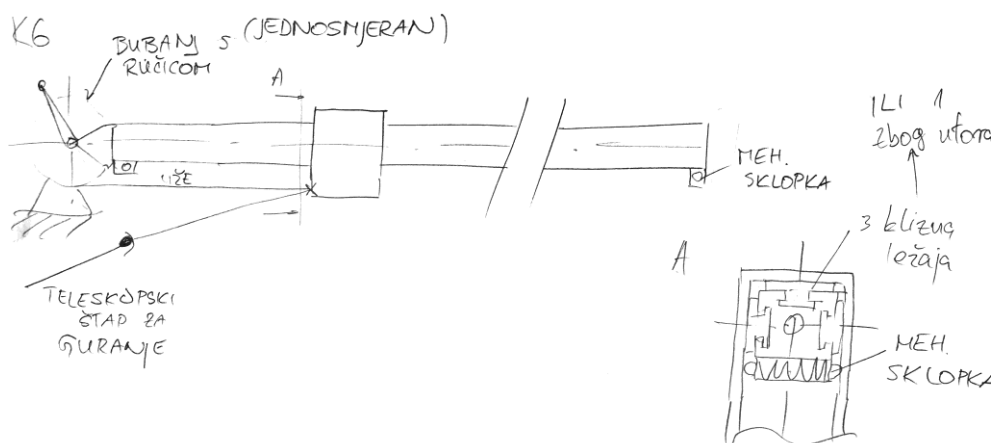
6.4.5.5. Koncept 5



Slika 53. Koncept 5 sustava dobave

Operator ručkom vrti lančanic. Lanac (olakšan polimernim elementima) prenosi rotaciju bez proklizavanja na Klizno postolje. Klizno postolje je uležišteno na jedan Bosch profil uz pomoć Delrin kliznih ležajeva. Postoje 3 ležaja, 2 bočna i jedan na koji se klizno postolje naslanja, čime se prenosi vertikalna sila. Mehanička kočnica blokira lančanic čime se klizno postolje zaustavlja. Zbog kliznih ležajeva i horizontalnog položaja nosača, klizno postolje miruje ako se na njega ne dovodi snaga preko lanca. Dva gumena odbojnika pričvršćena u profile s Bosch T vijcima služe amortiziranom zaustavljanju kliznog postolja.

6.4.5.6. Koncept 6



Slika 54. Koncept 6 sustava dobave

Operater ima segmente teleskopskog štapa te njihovim spajanjem do duljine otprilike 2 m gura klizno postolje s prikopčanim FR. Klizno postolje je uležišteno na jedan Bosch profil uz pomoć Delrin kliznih ležajeva. Postoje 3 ležaja, 2 bočna i jedan na koji se klizno postolje naslanja, čime se prenosi vertikalna sila. Mehaničke sklopke smještene na početku i kraju trase uglave se u kućište s ležajevima čime se osiguravaju krajnje pozicije. Na klizno postolje je spojeno čelično uže koje se tijekom guranja odmotava s bubnja smještenog na početku trase. U krajnjem položaju se štap otkaci s kliznog postolja, te se namatanjem užeta okretanjem bubnja ručicom izvlači klizno postolje.

6.5. Evaluacija i ocjenjivanje koncepata pomoću Pughove metode [28]

Stuart Pugh je 80.-ih godina razvio metodu za ocjenjivanje koncepata baziranu na kriterijima koje proizvod mora zadovoljavati. Poželjno je da su generirani koncepti obrađeni do iste razine detalja kako bi se lakše mogli usporediti, skicom i riječima. Kriteriji i koncepti ubacuju se u matricu. Kriteriji su odabrani na temelju zahtjeva koje uređaj mora zadovoljiti. Pošto su težinski faktori svih kriterija jednaki, potrebno je paziti i ne uvrstiti manje bitne kriterije u analizu. Uvrštavanjem manje bitnih kriterija razlike uzrokovane bitnijim kriterijima ne bi došle do izražaja. Također, potrebno je odabrati referentni koncept kao bazu za usporedbu. Kao referentni koncept odabire se rješenje koje je već priznato kao industrijski standard, ili rješenje s kojim su članovi tima dobro upoznati. To može biti komercijalno dostupan proizvod, rješenje koje je tim ocijenio kao najbolji, ranija generacija proizvoda, ili bilo koji koncept koji sudjeluje u ocjenjivanju. Moguće ocjene su pozitivna, neutralna i negativna. Nakon usporedbe s referentnim konceptom i ocjenjivanja, koncept s najvećom ocjenom biva odabran za daljnju razradu. Ukoliko neki koncepti imaju istu ocjenu, mogu se kombinirati kako bi se našlo bolje rješenje. U nastavku slijedi ocjenjivanje koncepata sustava prihvata, pozicioniranja i dobave.

6.5.1. Sustav prihvata**Tablica 7. Evaluacija koncepata sustava prihvata**

Kriterij	Koncepti sustava prihvata						
	1	2	3	4	5	6	7
Kompaktan	0	0	-	-	+	-	0
Prenosiv (lagan)	-	0	0	0	0	0	0
Dijelovi jednostavne geometrije	0	+	0	-	0	0	0
Broj STD dijelova	0	0	-	-	-	-	0
Broj točaka prihvata	0	-	-	-	-	-	0
Jednostavnost upotrebe	0	-	-	0	0	0	0
Zbroj +	0	1	0	0	1	0	0
Zbroj 0	5	3	2	2	3	3	6
Zbroj -	1	2	4	4	2	3	0
Rezultat	-1	-1	-4	-4	-1	-3	0
Rang	2	2	4	4	2	3	1
Nastavak razvoja?	NE	NE	NE	NE	NE	NE	DA

6.5.2. Sustav pozicioniranja**Tablica 8. Evaluacija koncepata sustava pozicioniranja**

Kriterij	Koncepti sustava pozicioniranja				
	1	2	3	4	5
Kompaktnost	+	0	-	0	-
Zadržavanje krajnje pozicije	0	0	0	0	-
Jednostavnost radnje za operatera	0	0	-	-	-
Broj STD dijelova	0	0	-	-	-
Prenosiv (lagan)	-	0	-	0	0
Broj pomičnih dijelova (manje je bolje)	-	0	-	0	0
Zbroj +	1	0	0	0	0
Zbroj 0	3	6	1	4	2

Zbroj -	2	0	5	2	4
Rezultat	-1	0	-5	-2	-4
Rang	2	1	5	3	4
Nastavak razvoja?	NE	Kombinirati	NE	NE	NE

6.5.3. Sustav dobave

Tablica 9. Evaluacija koncepata sustava dobave

Kriteriji	Koncepti sustava vođenja					
	1	2	3	4	5	6
Krutost i čvrstoća nosača	0	+	0	+	0	0
Prenosiv (lagan)	0	-	0	-	0	+
Jednostavno obavljanje vožnje	0	-	0	-	0	0
Bez proklizavanja pogona tijekom vožnje	0	-	-	-	0	-
Broj STD dijelova	0	+	0	+	0	0
Zbroj +	0	2	0	2	0	1
Zbroj 0	5		4	0	5	3
Zbroj -	0	3	1	3	0	1
Rezultat	0	-1	-1	-1	0	0
Rang	1	2	2	2	1	1
Nastavak razvoja?	Kombinirati	NE	NE	NE	Kombinirati	Kombinirati

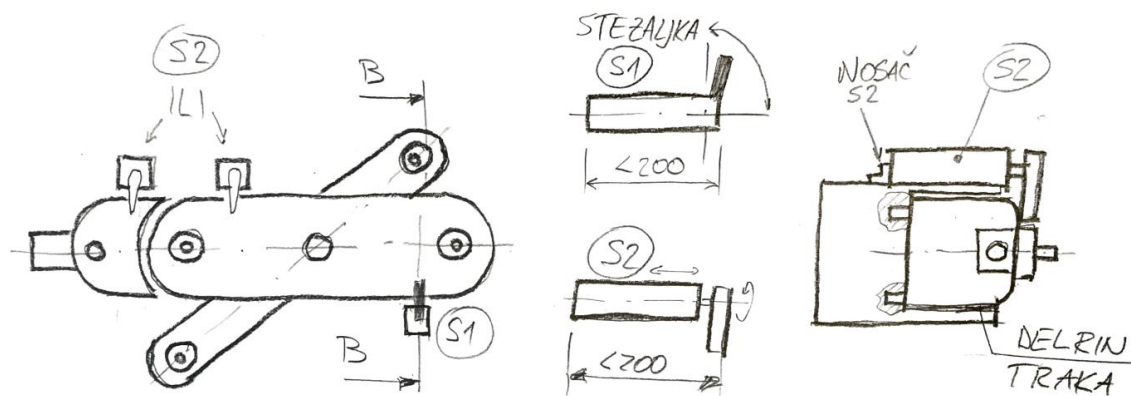
6.6. Odabir koncepata za daljnji razvoj

Nakon provedene evaluacije uspostavljeno je da kod sustava prihvata najviše zadovoljava referentni koncept 7. Kod sustava pozicioniranja referentni koncept 2 pokazao se zadovoljavajućim, no potrebno je izvršiti neke izmjene kako bi se smanjio fizički rad operatera. Kod sustava vođenja 3 koncepta ocijenjena su istim rezultatom. Koncept 1 sustava vođenja bazira se na istom principu kao postojeće implementirano rješenje koje tvrtka INETEC koristi, te je zato odabran za daljnju razradu. Ta tri sustava biti će uklopljena u završni koncept.

Nakon konzultacija s naručiteljem i mentorom, zaključeno je da se fokus razvoja usmjeri na sustav za prihvata i pozicioniranje.

6.6.1. Opis odabranog koncepta

Odabrani koncept koristi pneumatsku stezaljku za osiguranje Forerunnera od ispadanja te 2 pneumatska dvoradna cilindra kako bi rotacijom oko oslonaca bilo ostvareno odgovarajuće rotacijsko gibanje. Pneumatski aktuatori standardni su asortiman tvrtke Festo. Pneumatika je odabrana iz razloga što je već dostupna na radnom mjestu pošto se njome ostvaruje prihvata Forerunnera hvataljkama u cijevi parogeneratora. Sve površine u kontaktu sa kućištem Forerunnera zaštićene su trakicama Delrina. Između nosača (8) i klizne vodilice (7) nalaze se Bosch standardni klizni ležajevi.

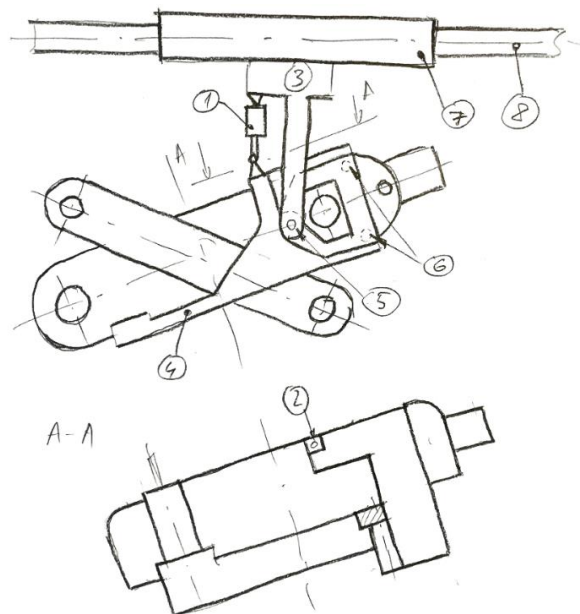


Slika 55. Način prihvata Forerunnera na odabrani koncept

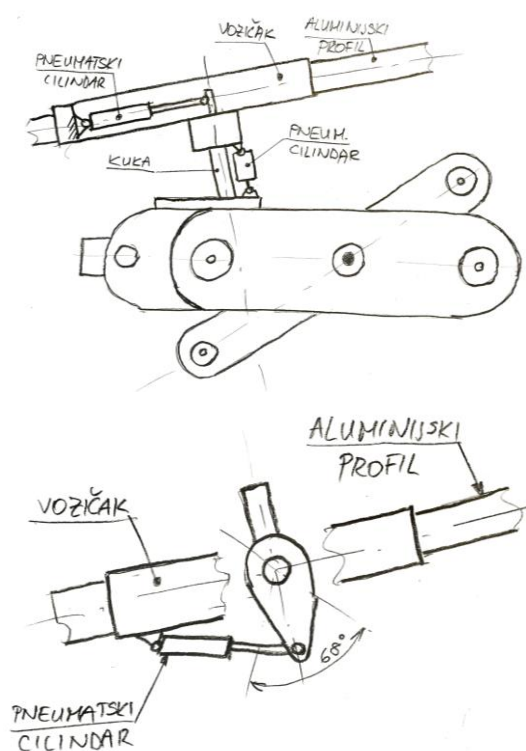
Dijelovi koncepta sa Slika 56:

1. Pneumatski cilindar za zakretanje glavne osi
2. Oslonac cilindra 1
3. Kuka

4. Postolje za pridržavanje Forerunnera
5. Ležajno mjesto oko kojeg se vrši rotacija gornje osi
6. Svornjaci dostupni na Forerunneru za prihvata
7. Klizna vodilica
8. Bosch aluminijski profil



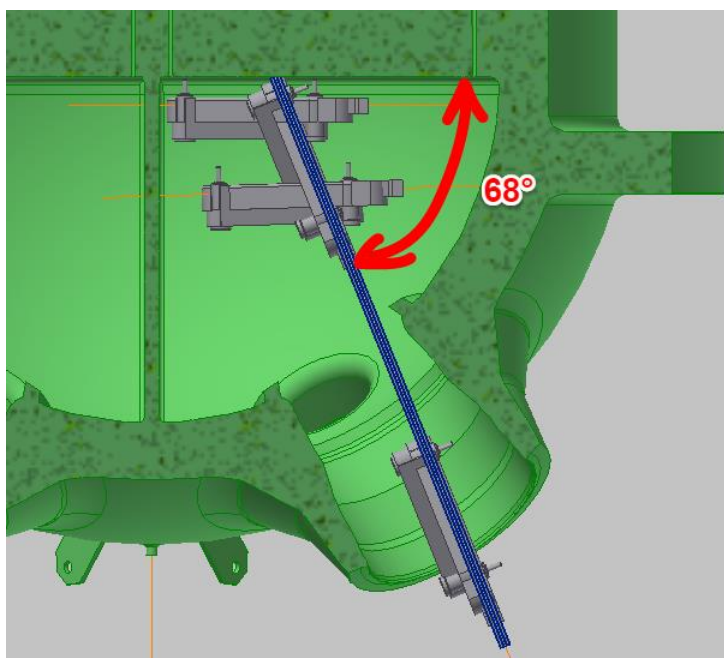
Slika 56. Sklop za rotaciju glavne osi i oslanjanje pomoću kliznog vozička



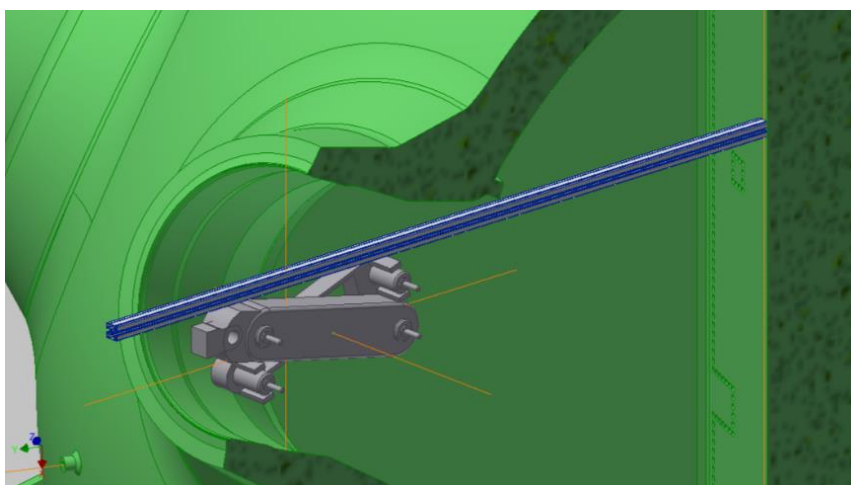
Slika 57. Sklop za rotaciju Forerunnera prema stjenci

6.7. Proračun

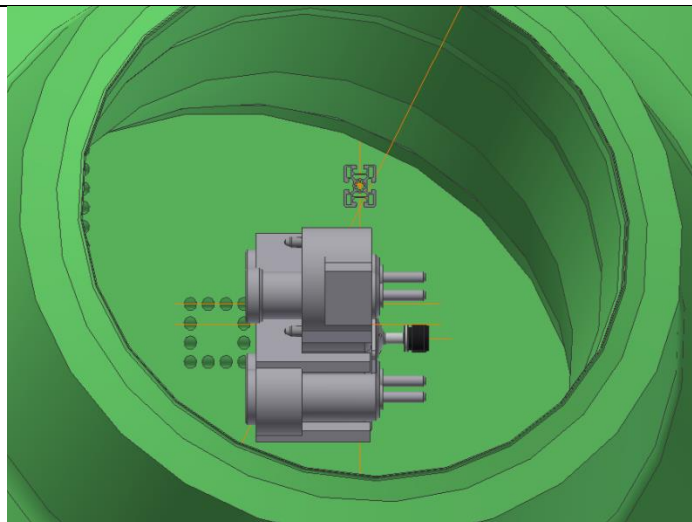
Nakon početnih razmatranja korištenjem 3D CAD modela Forerunnera i parogeneratora te konzultacijama sa dipl. ing. A. Bakićem utvrđeno je da će nosač biti postavljen u horizontalnu ravninu pod određenim kutom prema cijevnoj stijenci. Time se omogućava maksimalan prostor za zakret Forerunnera, te prolaz kroz servisni otvor. Kut iznosa 68° utvrđen je iterativnim postupkom korištenjem 3D CAD modela i praćenjem mogućih preklapanja dijelova unutar sklopa. Odabran je aluminijski profil *Bosch*, te je iz baze presjeka dostupne na stranicama proizvođača proračunom utvrđen presjek optimalnih geometrijskih karakteristika. U proračunu su još obrađeni okretni ležaj kuke te svornjak oko kojeg Forerunner vrši rotaciju u horizontalan položaj



Slika 58. Presjek parogeneratora i trasa vođenja Forerunnera u tlocrtu

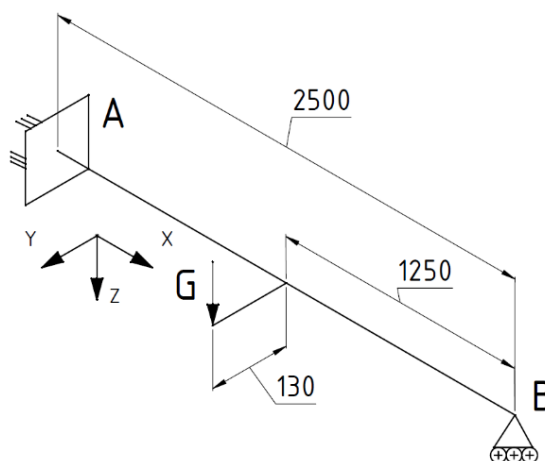


Slika 59. Izometrija presjeka parogeneratora



Slika 60. Normalan pogled na os profila

6.7.1. Aluminijski nosač



Slika 61. Shema za proračun aluminijskog nosača

Najgori slučaj opterećenja aluminijskog nosača je kada se Forerunner nalazi na pola trase te se zarotira prema stijenci. Tada na nosač djeluju najveći moment savijanja oko osi Y i najveći moment torzije oko osi X.

Proizvođač Bosch daje sljedeće geometrijske podatke i podatke o materijalu:

$$R_{p0.2} = 195 \text{ N/mm}^2$$

$$E = 70000 \text{ N/mm}^2$$

$$W_t = 4090 \text{ mm}^3$$

$$W_y = 12400 \text{ mm}^3$$

$$I = 372000 \text{ mm}^4$$

(1)

Faktor sigurnosti te duljina nosača i duljina kraka momenta torzije su:

$$\begin{aligned}
 S &= 2,5 \\
 l &= 2500 \text{ mm}, \\
 l_{\max} &= 130 \text{ mm}.
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Maksimalni progib nosača iznosi [31]:

$$w = \frac{Gl^3}{EI \cdot 48\sqrt{5}} = \frac{330 \cdot 2500^3}{70000 \cdot 372000 \cdot 48\sqrt{5}} = 1,845 \text{ mm}, \tag{3}$$

Lokacija maksimalnog progiba na nosaču od mjesta uležištenja B:

$$x = \frac{l}{\sqrt{5}} = 1118,03 \text{ mm}. \tag{4}$$

Maksimalni moment savijanja oko osi Y iznosi:

$$M_y = M_{\max} = \frac{3Gl}{16} = \frac{3 \cdot 330 \cdot 2500}{16} = 154687,5 \text{ Nmm}. \tag{5}$$

Naprezanje uslijed savijanja iznosi:

$$\sigma_y = \frac{M_y}{W_y} = \frac{160000}{12400} = 12,9 \text{ N/mm}^2. \tag{6}$$

Maksimalni moment torzije oko osi X iznosi:

$$M_x = Gl_{\max} = 330 \cdot 130 = 42900 \text{ Nmm}. \tag{7}$$

Maksimalno smično naprezanje uslijed torzije iznosi:

$$\tau_{\max} = \frac{M_x}{W_t} = \frac{42900}{4090} = 10,489 \text{ N/mm}^2. \tag{8}$$

Reducirano naprezanje iznosi [32]:

$$\sigma_{\text{red}} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau_{\max}^2} = \sqrt{12,9^2 + 3 \cdot 10,489^2} = 22,28 \text{ N/mm}^2 \tag{9}$$

Granica razvlačenja prema proizvođaču:

$$\sigma_{\text{dop}} = R_{p0.2} = 195 \text{ N/mm}^2 \tag{10}$$

Slijedi uvrštavanje faktora sigurnosti za reducirano naprezanje:

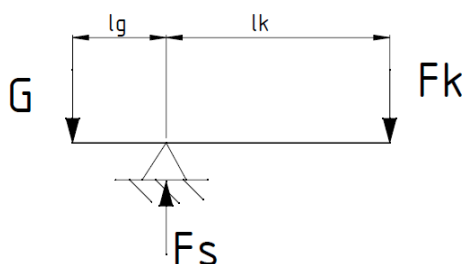
$$\begin{aligned}
 \sigma_{\text{red}} \cdot S &< \sigma_{\text{dop}} \\
 22,28 \cdot 2,5 &< 195 \\
 55,7 &< 195 \text{ Zadovoljava!}
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

6.7.2. Okretni ležaj kuke

Kako bi se Forerunner mogao dovesti u horizontalan položaj nakon što je ušao u parogenerator, potrebno je ostvariti moment rotacije oko oslonca S pneumatskim cilindrom. Shema tog slučaja predstavljena je na Slika 62.

Krakovi težine Forerunnera G i sile u klipu dobiveni mjerenjem 3D modela:

$$\begin{aligned} G &= 330 \text{ N} \\ l_G &= 92 \text{ mm} \\ l_K &= 200 \text{ mm} \end{aligned} \quad (12)$$

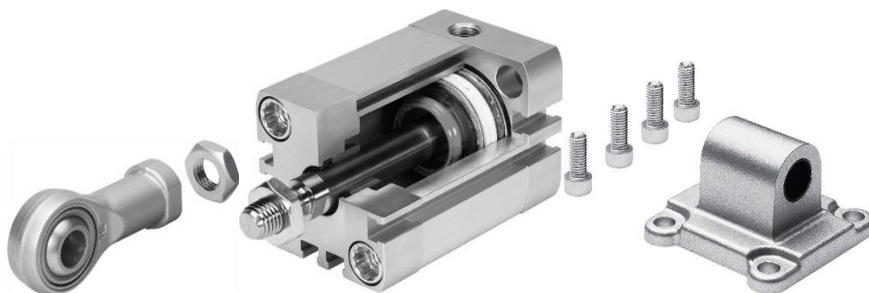


Slika 62. Shema za proračun sile u cilindru za rotaciju glavne

Jednadžba ravnoteže oko oslonca S daje potrebnu silu u pneumatskom cilindru:

$$F_K = \frac{G l_G}{l_K} = \frac{330 \cdot 92}{200} = 151,8 \text{ N} \approx 152 \text{ N} \quad (13)$$

Odabran je Festo dvoradni pneumatski cilindar kompaktne konstrukcije koji može proizvesti aksijalnu silu minimalnog iznosa 247 N u oba smjera, te ima pojačanu konstrukciju za veće poprečne sile [33].



Slika 63. Dijelovi sklopa cilindra za zakretanje gornje osi

Forces [N] and impact energy [J]											
Piston Ø	12	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125
Theoretical force at 6 bar, advancing											
-	68	121	188	295	483	754	1178	1870	3016	4712	7363
S1	-	-	-	295	-	754	-	1870	-	4712	-
S2	51	90	141	247	415	686	1057	1750	2827	4524	7069
Theoretical force at 6 bar, retracting											
-	51	90	141	247	415	686	1057	1750	2827	4524	7069
S1	-	-	-	247	-	633	-	1681	-	4417	-
S2	51	90	141	247	415	686	1057	1750	2827	4524	7069

Slika 64. Tehničke specifikacije cilindra za rotaciju gornje osi

Basic Features	
Feature	Value
Function	ADN Compact cylinder, double acting, based on ISO 21287
Piston diameter mm	25 mm
Stroke mm	45 mm
Piston rod thread	A External thread
Cushioning	P Flexible cushioning rings / pads on both sides
Position sensing	A For proximity sensor

Further options	
Feature	Value
Secured against rotation	Without
Type of piston rod	Single-ended piston rod
K2 Piston rod with extended thread	Without
K5 - Special thread	Standard thread on piston rod
Temperature resistant	Standard
Constant speed	Without
Low friction	Normal type
Increased running performance	Without
Corrosion protection	Standard
Increased lateral force	S1 Reinforced piston rod or extended piston rod bearing
Captive rating plate	Rating plate glued
Very low-temperature	Without
Wiper	Standard
Certification EU (ATEX)	EX4 (II 2GD)

Slika 65. Tehničke specifikacije cilindra za rotaciju gornje osi

Reakcija u osloncu F_S i sila u cilindru F_K prenose se dalje na nosivi okvir do okretnog ležaja. Okretni ležaj je specifičan po tome što sigurno preuzima radijalne i aksijalne sile te momente savijanja.

Reakcija u osloncu F_S dobiva se jednadžbom ravnoteže sila u vertikalnom smjeru:

$$F_S = G + F_K = 330 + 152 = 482 \text{ N.} \quad (14)$$

Krakovi sila dobiveni su mjerenjem 3D modela konstrukcije:

$$\begin{aligned} x_1 &= 38 \text{ mm} \\ x_2 &= 163 \text{ mm} \\ y &= 110 \text{ mm} \end{aligned} \quad (15)$$

Momenti oko osi Y iznose:

$$\begin{aligned} M_{y1} &= F_S x_1 = 482 \cdot 38 = 18316 \text{ Nmm} \\ M_{y2} &= F_K x_2 = 152 \cdot 163 = 24776 \text{ Nmm}, \end{aligned} \quad (16)$$

dok momenti oko X osi iznose:

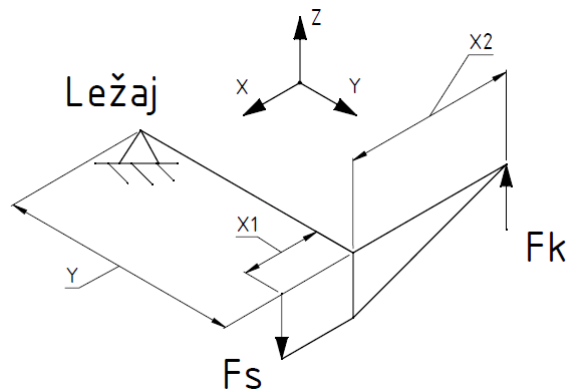
$$\begin{aligned} M_{x1} &= F_S y = 482 \cdot 110 = 53020 \text{ Nmm} \\ M_{x2} &= F_K y = 152 \cdot 110 = 16720 \text{ Nmm}. \end{aligned} \quad (17)$$

Ukupni momenti u smjeru osi X i Y:

$$\begin{aligned} M_x &= M_{x1} - M_{x2} = 53020 - 16720 = 36300 \text{ Nmm}, \\ M_y &= M_{y1} + M_{y2} = 18316 + 24776 = 43092 \text{ Nmm} \end{aligned} \quad (18)$$

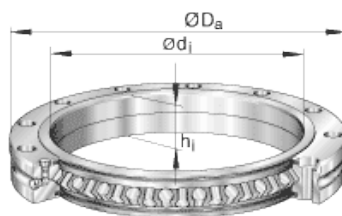
Momente je potrebno vektorski zbrojiti kako bi se dobio ukupni moment savijanja na ležaj:

$$M = \sqrt{M_x^2 + M_y^2} = \sqrt{36300^2 + 43092^2} = 56343,7 \text{ Nmm} \quad (19)$$



Slika 66. Shema za proračun sila i momenata na okretni ležaj i osovinu

Koristeći dostupan program na *web* stranici [34] izveden je proračun ležaja. Ulazni podaci su opterećenja iz jednažbi (13),(14),(19). Ležaj zadovoljava opterećenja te mu je životni vijek preko 600000 sati.



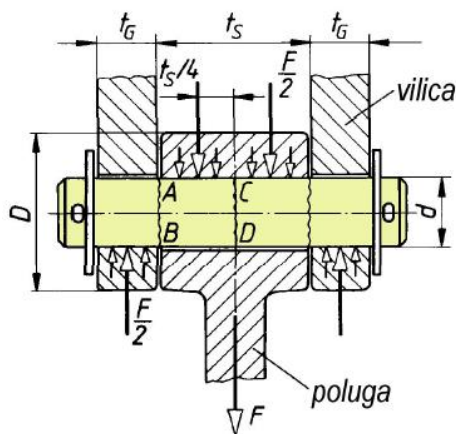
Slika 67. Odabrani okretni ležaj INA FAG XV30

d_i	30 mm Tolerance: J6	Bearing Designation XV30 Reference diameter dM 42.000 mm Basic static load rating, radial C0_r 10400 N Basic static load rating, axial C0_a 26000 N Basic dynamic load rating, radial C_r 7400 N Basic dynamic load rating, axial C_a 11600 N Application factor fa 1.00		
D_a	75 mm Tolerance: h6			
	20 ° Chamfer angle	Loadcase 1 Time portion q 100.000 % Type of movement rotating Speed n 1.0 1/min Force in x direction Fx 330.00 N Force in y direction Fy 0.00 N Moment about y axis My 56.350 N m		
	2 mm			
d_a	41,5 mm	Loadcase 1 Rating life for the load case in hours (nominal) Lh10_i 642279 h Static safety factor, raceway S0 4.9 Frictional moment Mr 1 N m		
d_s	4,6 mm			
D_i	42,5 mm	Bearing Total rating life in hours (nominal) Lh10 642279 h Minimal static load safety factor, raceway S0_min 4.9 Maximum frictional torque Mr_max 1 N m		
d_s	8 mm			
H_a	14 mm	Loadcase 1 Rating life for the load case in hours (nominal) Lh10_i 642279 h Static safety factor, raceway S0 4.9 Frictional moment Mr 1 N m		
h_i	15 mm			
L_a	60 mm	Bearing Total rating life in hours (nominal) Lh10 642279 h Minimal static load safety factor, raceway S0_min 4.9 Maximum frictional torque Mr_max 1 N m		
n_s	12 Number of holes per ring			
t_s	4,6 mm	Loadcase 1 Rating life for the load case in hours (nominal) Lh10_i 642279 h Static safety factor, raceway S0 4.9 Frictional moment Mr 1 N m		
m	0,37 kg Mass			
	0,010 mm Running accuracy, axial	Loadcase 1 Rating life for the load case in hours (nominal) Lh10_i 642279 h Static safety factor, raceway S0 4.9 Frictional moment Mr 1 N m		
	0,01 mm Running accuracy, radial			
F_{r per}	5000 N Maximum permissible radial load against friction lock	Loadcase 1 Rating life for the load case in hours (nominal) Lh10_i 642279 h Static safety factor, raceway S0 4.9 Frictional moment Mr 1 N m		
C_a	11600 N Basic dynamic load rating, axial			
C0_a	26000 N Basic static load rating, axial	Loadcase 1 Rating life for the load case in hours (nominal) Lh10_i 642279 h Static safety factor, raceway S0 4.9 Frictional moment Mr 1 N m		
C_r	7400 N Basic dynamic load rating, radial			
C0_r	10400 N Basic static load rating, radial	Loadcase 1 Rating life for the load case in hours (nominal) Lh10_i 642279 h Static safety factor, raceway S0 4.9 Frictional moment Mr 1 N m		
	910 1/min Limiting speed with preload			
	1819 1/min Limiting speed with clearance	Loadcase 1 Rating life for the load case in hours (nominal) Lh10_i 642279 h Static safety factor, raceway S0 4.9 Frictional moment Mr 1 N m		

Slika 68. Pregled proračuna i specifikacije okretnog ležaja

6.7.3. Svornjak kuke

Oslonac S služi kao oslonac oko kojeg se vrši rotacija Forerunnera u horizontalan položaj. Kao konstrukcijsko rješenje odabran je svornjak s naslonom i rascjepkom čime se olakšava rasklapanje.



Slika 69. Shema za proračun svornjaka glavne osi [35]

Dimenzije svornjaka, poluge i vilice potrebne za proračun su sljedeće:

$$d = 12 \text{ mm}$$

$$t_G = 10 \text{ mm}$$

$$t_S = 18 \text{ mm}$$

(20)

$$A = \frac{d^2 \pi}{4} = \frac{12^2 \pi}{4} = 113 \text{ mm}^2$$

Sila F_S zaokružena je na nešto veći iznos, uz odabrani faktor sigurnosti S te dozvoljena naprezanja kod jednosmjernog promjenjivog opterećenja za materijal St 50 - 2 (E295) prema [36]:

$$F_S = 500 \text{ N}$$

$$S = 2,5$$

$$\tau_{dop} = 52 \text{ N/mm}^2$$

(21)

$$\sigma_{dop} = 96 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{dop} = 24 \text{ N/mm}^2$$

Smično naprezanje iznosi:

$$\tau_s = \frac{F}{2A} = \frac{500}{2 \cdot 113} = 2,21 \text{ N/mm}^2$$

(22)

$$\tau_s = \frac{F}{2A} = \frac{500}{2 \cdot 113} = 2,21 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_s \cdot S < \tau_{dop} \quad (23)$$

$$2,21 \cdot 2,5 < 52$$

$$5,525 < 52 - \text{Zadovoljava!}$$

Uz moment otpora presjeka na savijanje,

$$W = \frac{d^3 \pi}{32}, \quad (24)$$

Jednadžba za naprezanje uslijed savijanja glasi:

$$\sigma_g = \frac{M_{g \max}}{W} = \frac{4F(t_s + 2t_G)}{d^3 \pi} = \frac{4 \cdot 500 \cdot (20 + 20)}{12^3 \cdot \pi} = 14,73 \text{ N/mm}^2 \quad (25)$$

Slijedi uvrštavanje faktora sigurnosti:

$$\sigma_g = 14,73 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_g \cdot S < \sigma_{dop} \quad (26)$$

$$14,73 \cdot 2,5 < 96$$

$$36,825 < 96 - \text{Zadovoljava!}$$

Uz naprezanja na svornjak djeluju i površinski pritisci koje je potrebno provjeriti. Pritisak na vilicu iznosi:

$$p_V = \frac{F}{2d t_G} = \frac{500}{2 \cdot 12 \cdot 10} = 2,1 \text{ N/mm}^2 \quad (27)$$

dok pritisak na polugu iznosi:

$$p_P = \frac{F}{d t_s} = \frac{500}{12 \cdot 18} = 2,31 \text{ N/mm}^2 \quad (28)$$

Slijedi uvrštavanje faktora sigurnosti:

$$S p_V < p_{dop}$$

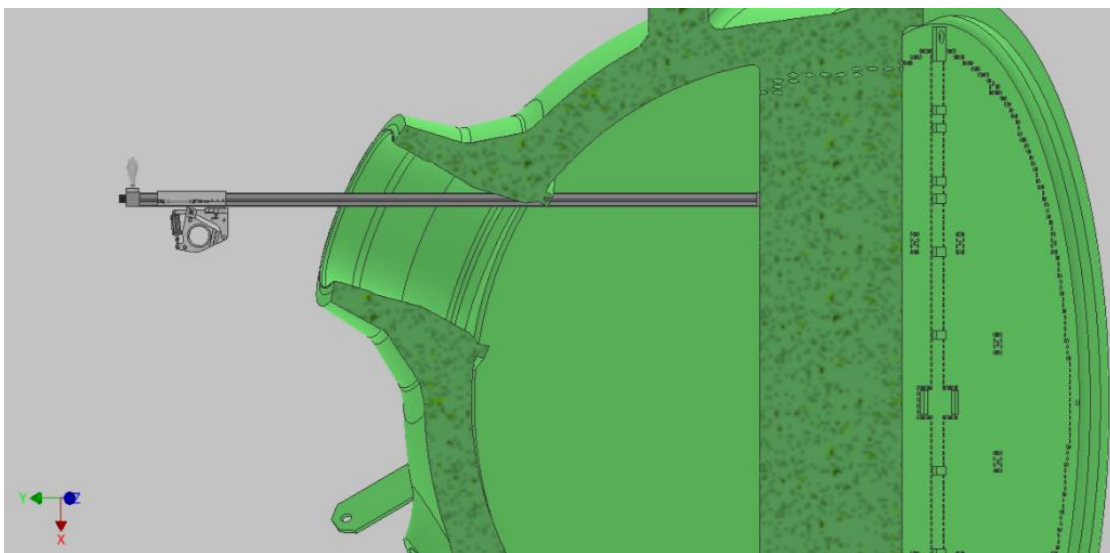
$$5,25 < 24 - \text{Zadovoljava!}$$

$$S p_P < p_{dop} \quad (29)$$

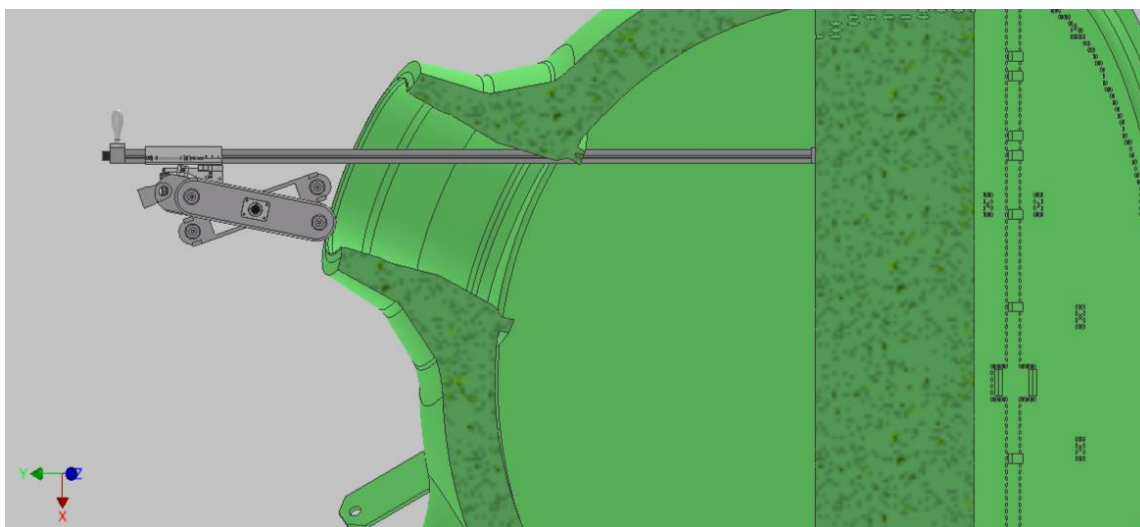
$$5,775 < 24 - \text{Zadovoljava!}$$

7. Opis konstrukcije i procesa instalacije

Na slikama u nastavku prikazan je sustav za prihvat i pozicioniranje s prihvaćenim manipulatorom Forerunnerom. Nosiva konstrukcija (nije prikazana) prihvaća se na prirubnicu otvora te služi kao vanjski oslonac aluminijskog profila. U unutrašnjosti parogeneratora, aluminijski profil je posebnim pneumatskim hvataljkama ukliješten u cijevnu stjenku. Sustav se ugrađuje na aluminijski profil te se na njega postavlja Forerunner, i osigurava od ispadanja aktiviranjem stezaljke. Cilindar za horizontalni nagib je u povučenom položaju kako bi gabariti cijelog sklopa bili što manji za prolazak kroz otvor parogeneratora. Isto tako cilindar za ostvarivanje paralelnosti sa stjenkom nalazi se u povučenom položaju.

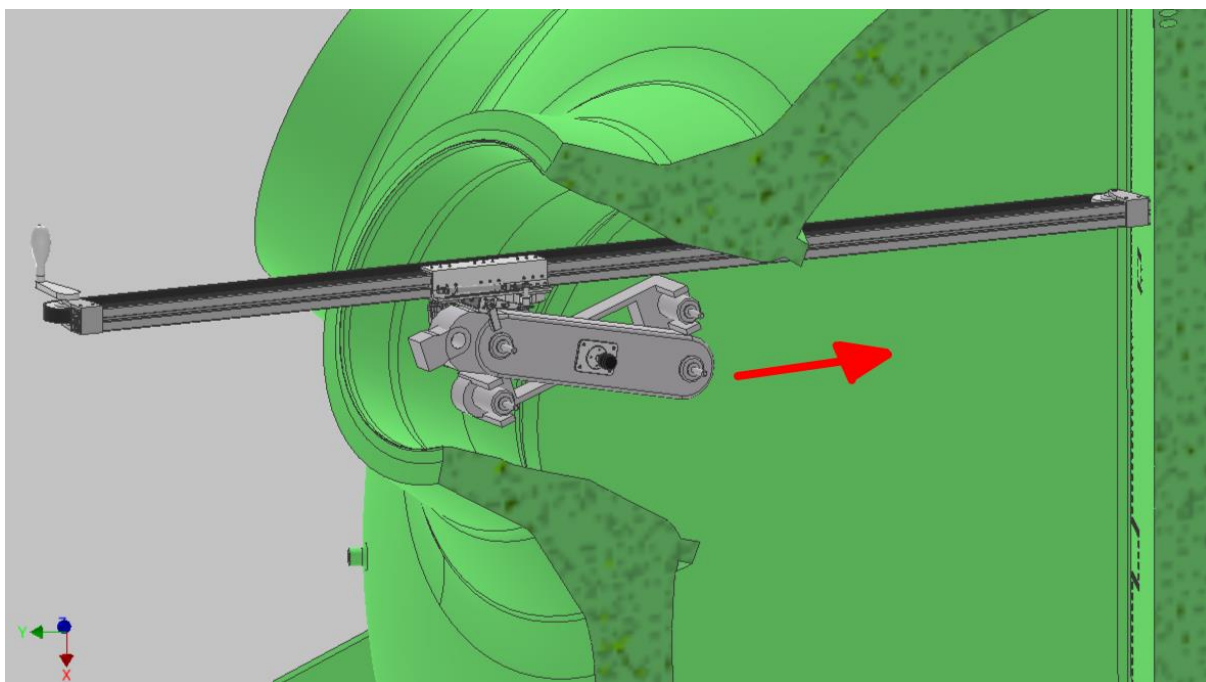


Slika 70. Uređaj za instalaciju spojen na parogenerator

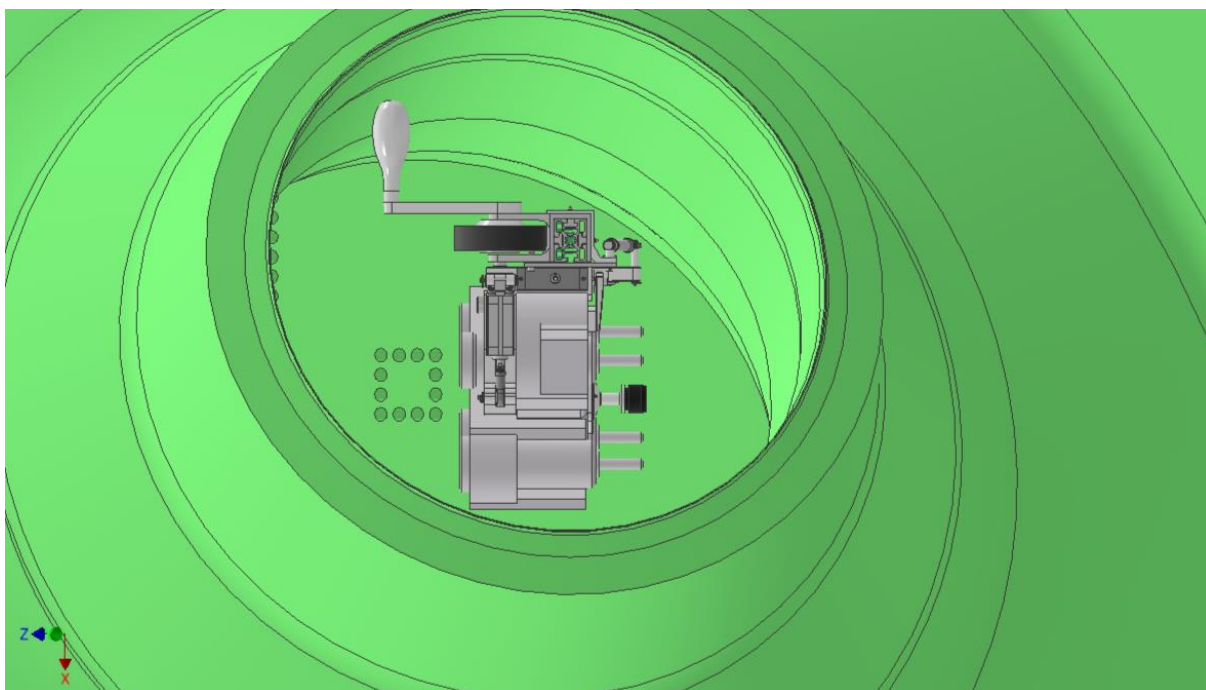


Slika 71. Forerunner spojen na uređaj za instalaciju

Prolazak kroz otvor parogeneratora je prvi kritičan trenutak. Operater vrti ručicu čime preko zupčastog remena prenosi gibanje na klizno postolje. Zupčasti remen koristi se zbog nemogućnosti proklizavanja što je jako bitna stavka u ovakvim operacijama.



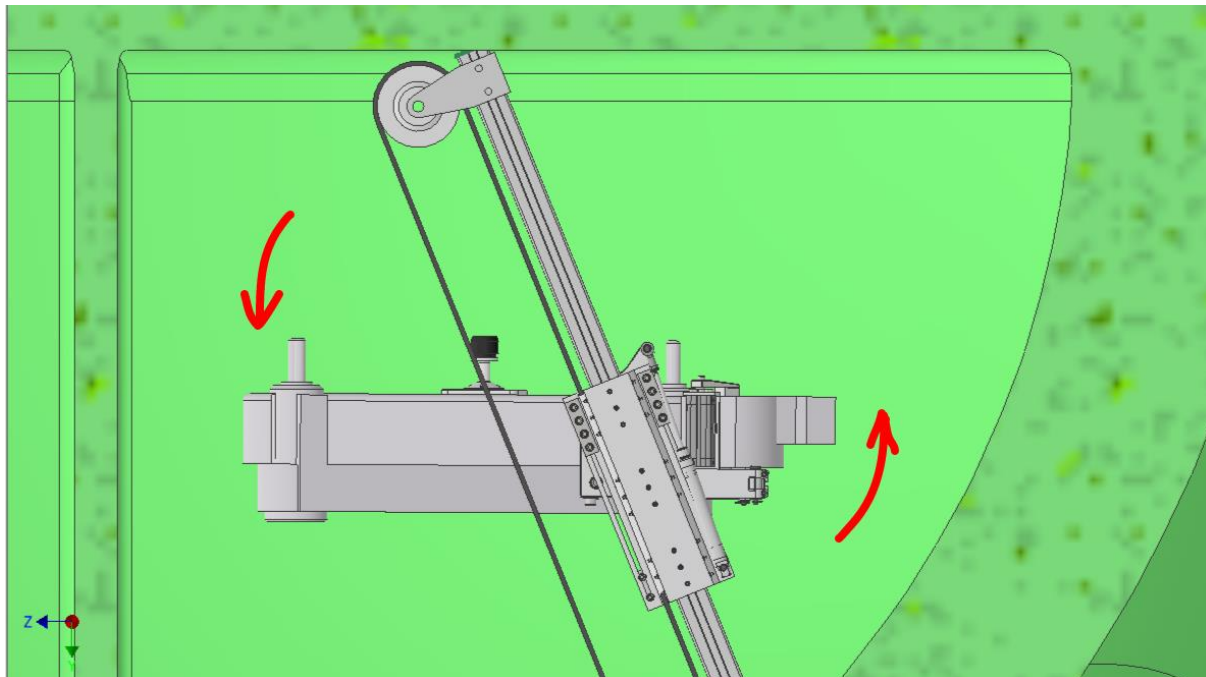
Slika 72. Prolazak kroz otvor parogeneratora



Slika 73. Pogled na otvor parogeneratora

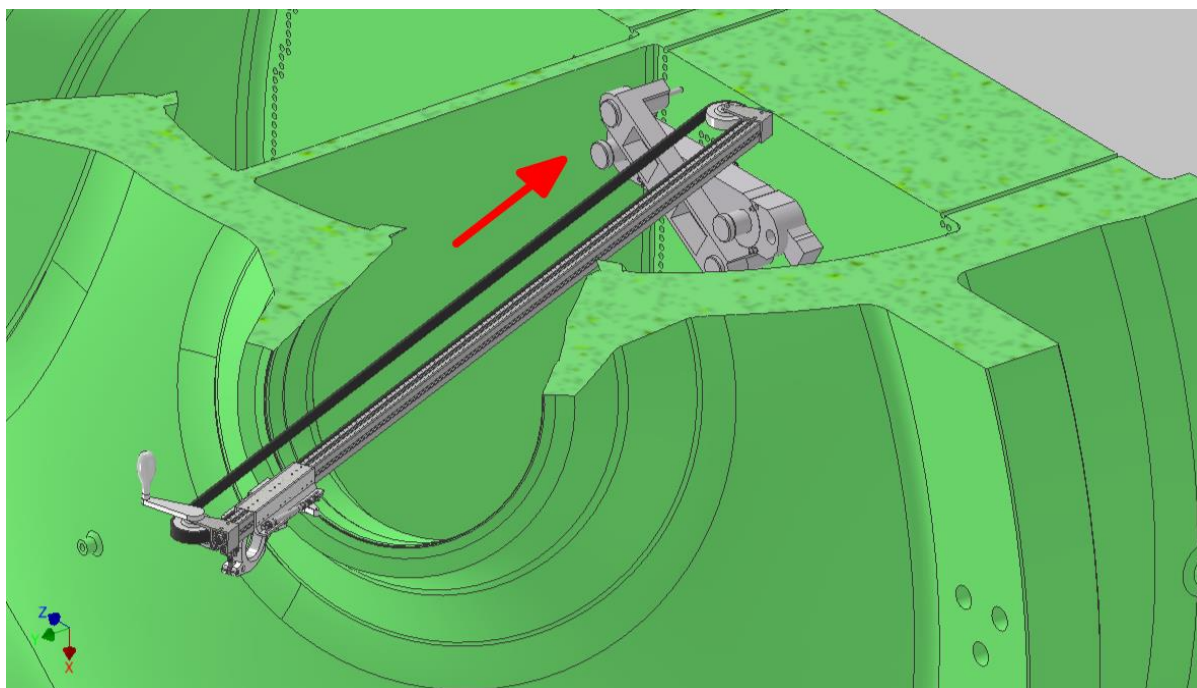
Nakon otprilike pola prijeđenog puta unutar parogeneratora moguće je zakrenuti Forerunner tako da su njegove hvataljke u smjeru cijevi, odnosno ostvariti paralelan položaj sa cijevnom

stjenkom. Pri ovoj operaciji operater mora paziti da je dovoljno udaljio Forerunner od stjenke parogeneratora tako da prilikom rotacije ne bi prihvat alata zapeo u stjenku.



Slika 74. Rotacija Forerunnera prema stjenci

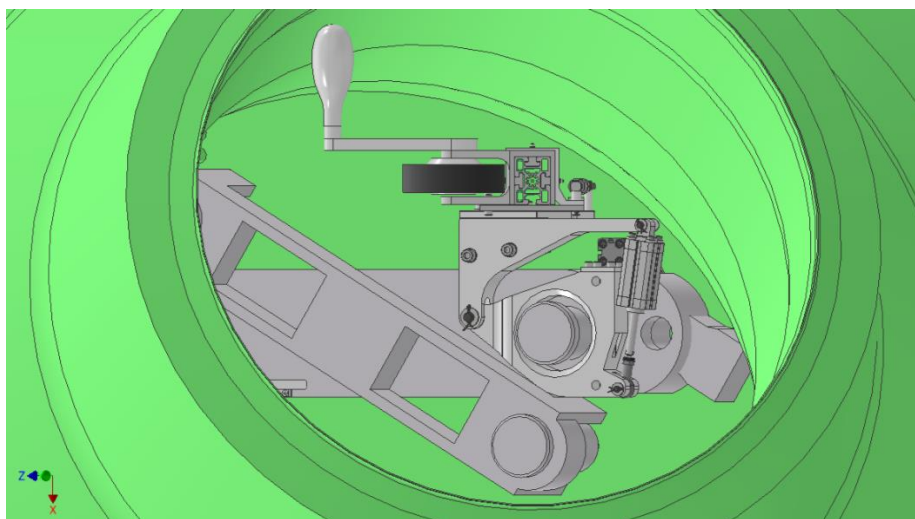
Nakon rotacije moguće je nastaviti vožnju prema cijevnoj stjenci. Potrebno je približiti Forerunner na tu udaljenost s koje njegove hvataljke mogu dohvatiti cijevi.



Slika 75. Nastavak vožnje prema stjenci

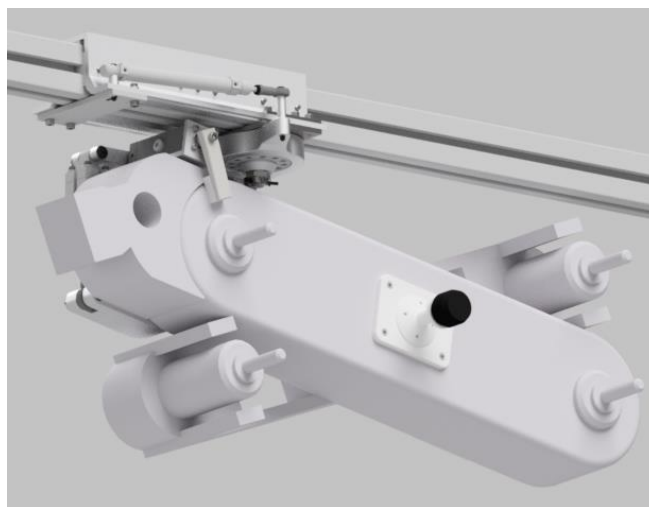
Nakon što se Forerunner sigurno prihvati na stjenku, moguće je otpustiti pneumatsku stezaljku koja ga je do sada osiguravala od ispadanja iz prihvata. Zatim je moguće otpustiti hvataljke

koje su držale aluminijski profil ukliješten u cijevima kako bi se uređaj za instalaciju moglo odvojiti od Forerunnera i parogeneratora i izvući van. Koristeći funkciju samoispravljanja, Forerunner se dovodi u siguran položaj bliže stjenci.

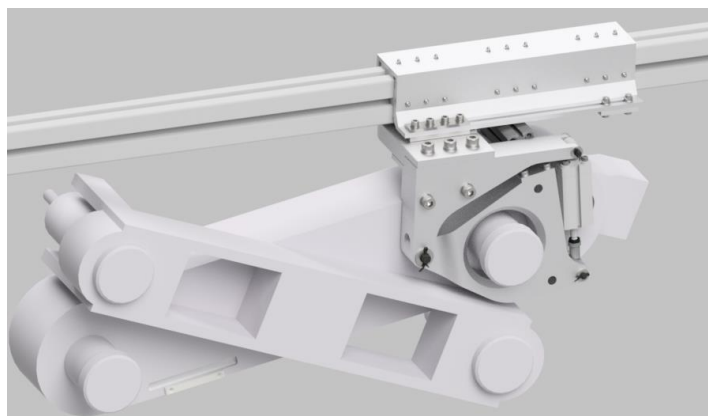


Slika 76. Pogled operatera na krajnji položaj instalacije

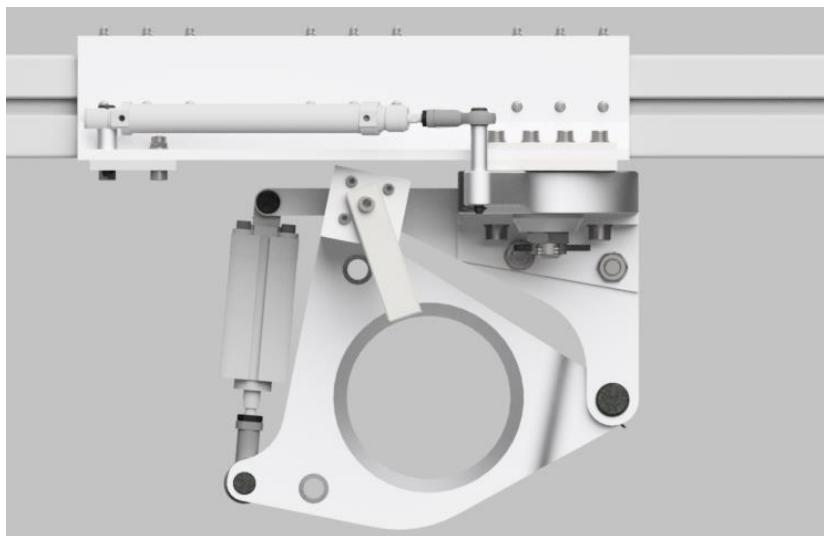
7.1. Osjenčani prikazi modela (*renderi*)



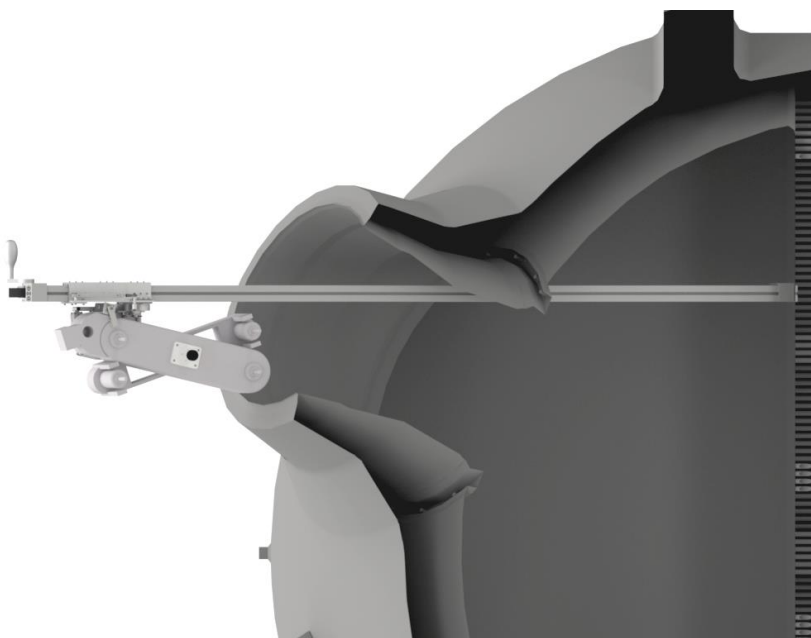
Slika 77. Pozicija Forerunnera za vožnju - render



Slika 78. Pozicija Forerunnera za vožnju - render 2



Slika 79. Nacrt sustava prihvata i pozicioniranja - render



Slika 80. Presjek parogeneratora s Forerunnerom spremnim za instalaciju

8. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazan je razvoj uređaja za instaliranje manipulatora Forerunner tvrtke INETEC na stjenku parogeneratora. Glavna funkcija uređaja je dovođenje manipulatora kroz servisni otvor na vertikalnu stjenku parogeneratora, tako da se manipulator može svojim hvataljkama uhvatiti za cijevi. Složena geometrija parogeneratora te dimenzije servisnog otvora i zahtjevi koji se postavljaju na manipulator Forerunner uvelike su utjecali na kompleksnost početnih razmatranja. Krajnji rezultat bio je zadovoljavajuća pravocrtna trajektorija po kojoj bi se Forerunner vozio. Navedena ograničenja utjecala su i na proces konstrukcijske razrade, limitirajući gabarite samog uređaja te tako i slobodan prostor za ugradnju funkcionalnih elemenata prihvata i sustava rotacije. Konstrukcijska razrada potvrdila je korištenje pneumatike kao izvora energije za pokretanje potrebnih elemenata zbog kompaktnosti aktuatora. Sam proces instalacije Forerunner manipulatora potrebno je učiniti što bržim i jednostavnijim zbog zahtjeva koji se danas postavljaju na nerazorna ispitivanja cijevi parogeneratora, a to su vrijeme trajanja inspekcije te troškovi povezani sa cijelim procesom ispitivanja parogeneratora.

LITERATURA

- [1] https://hr.wikipedia.org/wiki/Nuklearna_energija
- [2] https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_fission
- [3] https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_fusion
- [4] https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_reaction#Energy_conservation
- [5] https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_reactor
- [6] https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_fuel#MOX
- [7] <http://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-power-reactors/nuclear-power-reactors.aspx>
- [8] https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_power_plant#Cooling_system
- [9] <http://www.nuclear-power.net/nuclear-power-plant/nuclear-reactor/>
- [10] https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_fuel#UOX
- [11] https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_reactor#Heat_generation
- [12] <http://science.howstuffworks.com/nuclear-power2.htm>
- [13] <http://www.nuclear-power.net/nuclear-power-plant/control-rods/>
- [14] https://en.wikipedia.org/wiki/Neutron_moderator#Reactor_moderators
- [15] <https://en.wikipedia.org/wiki/Turbine>
- [16] <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=17578>
- [17] https://en.wikipedia.org/wiki/Turbo_generator
- [18] <http://www.mpoweruk.com/generators.htm#synchronous>
- [19] https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_reactor_coolant#Hydrocarbons
- [20] <http://www.nuclear-power.net/pwr-pressurized-water-reactor/>
- [21] <http://www.ucsusa.org/clean-energy/energy-and-water-use/water-energy-electricity-cooling-power-plant#.WCxVivkrKM9>
- [22] https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_reactor_safety_system
- [23] <http://www.nuclear-power.net/steam-generator/>
- [24] Galović A. Termodinamika II, FSB Zagreb, 2010.
- [25] [https://en.wikipedia.org/wiki/Steam_generator_\(nuclear_power\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Steam_generator_(nuclear_power))
- [26] <http://www.nuclear-power.net/pwr-pressurized-water-reactor/>
- [27] <http://atomicpowerreview.blogspot.hr/2012/03/steam-generators-design-and-details.html>
- [28] Karl T. Ulrich, Steven D. Eppinger: Product design and Development, McGraw Hill, 2012.

-
- [29] Predavanja i vježbe iz kolegija Razvoj proizvoda, FSB Zagreb
- [30] David G. Ullman: The Mechanical Design Process, Fourth Edition, McGraw Hill, 2010.
- [31] Kraut, B.: Strojarski priručnik, Tehnička knjiga Zagreb, 1970.
- [32] Schaeffler Technical Pocket Guide, Herzogenaurach, 2014.
- [33] www.festo.com
- [34] http://medias.schaeffler.de/medias/en!hp.ec.br.pr/XV*XV30
- [35] Predavanje „Osovine i vratila“ iz kolegija- Elementi konstrukcija 2, FSB Zagreb
- [36] Decker, K. H.: Elementi strojeva, Tehnička knjiga Zagreb, 2006.
- [37] Cvirn, Herold, Elementi konstrukcija, FSB Zagreb 2000.
- [38] Herold, Z.: Računalna i inženjerska grafika, Zagreb, 2003.

PRILOZI

- I. CD-R disc
- II. Funkcijska dekompozicija
- III. Tehnička dokumentacija

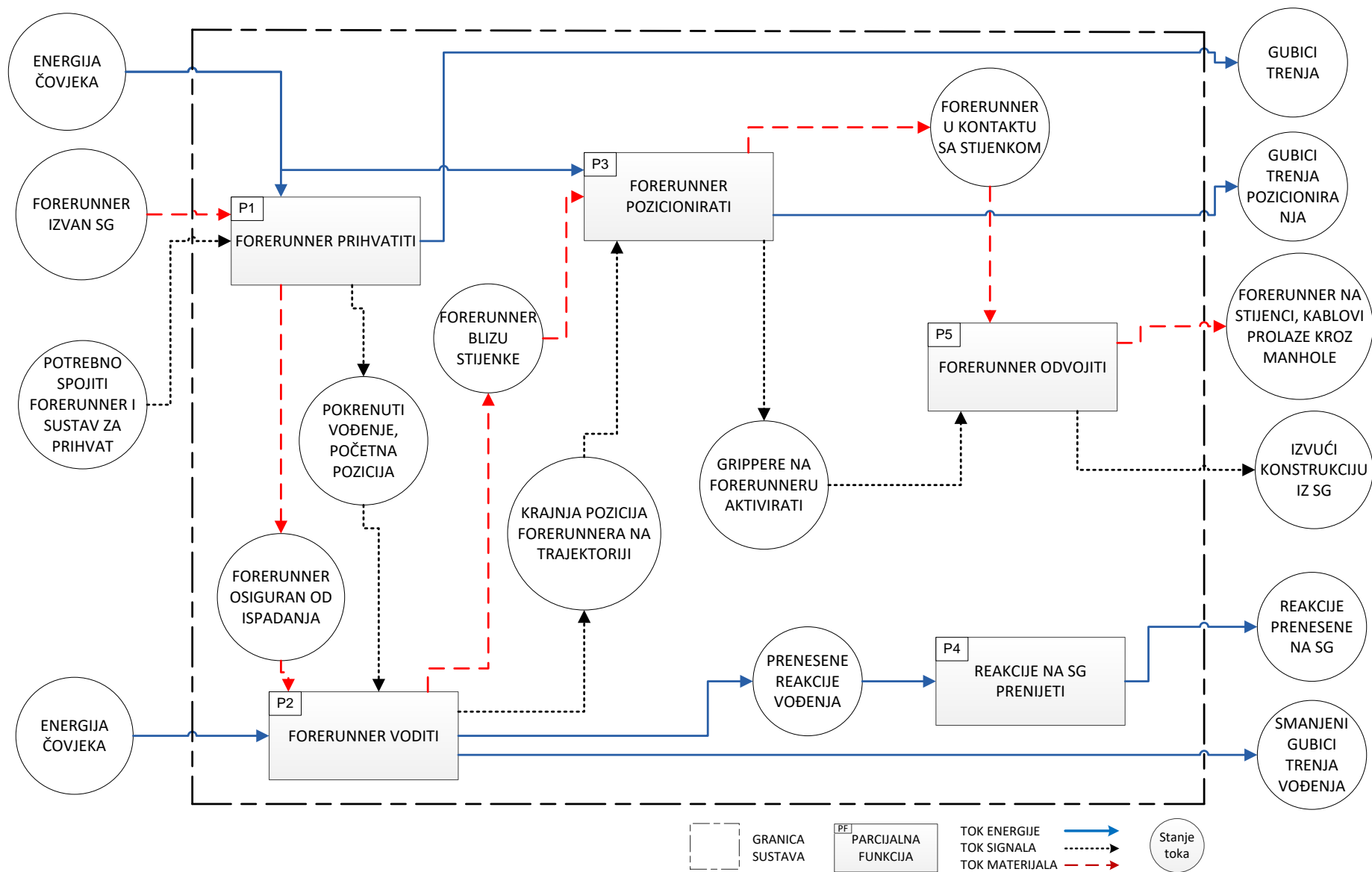
SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD
Prilog

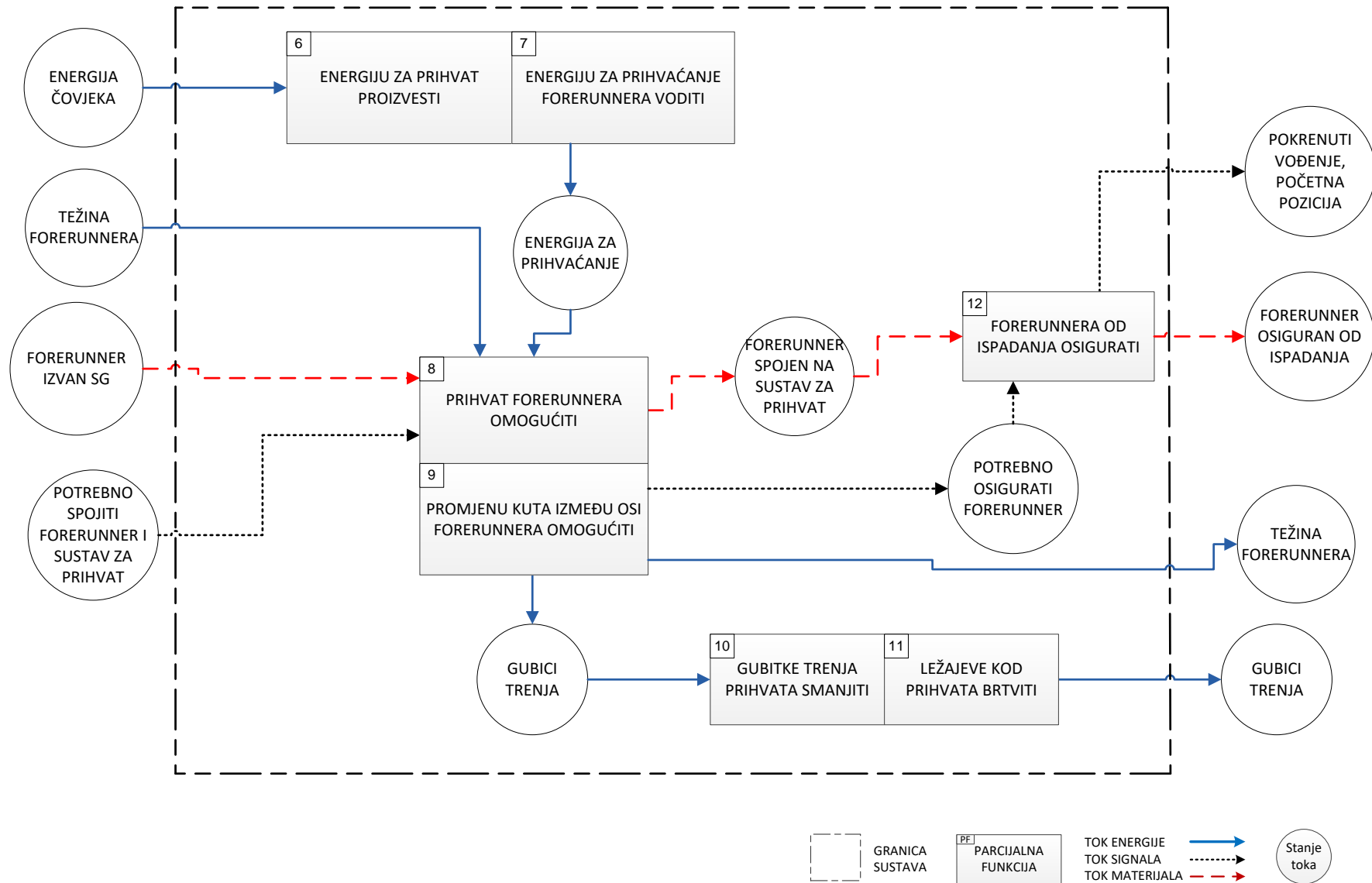
Dean Deković

Zagreb, 2017.

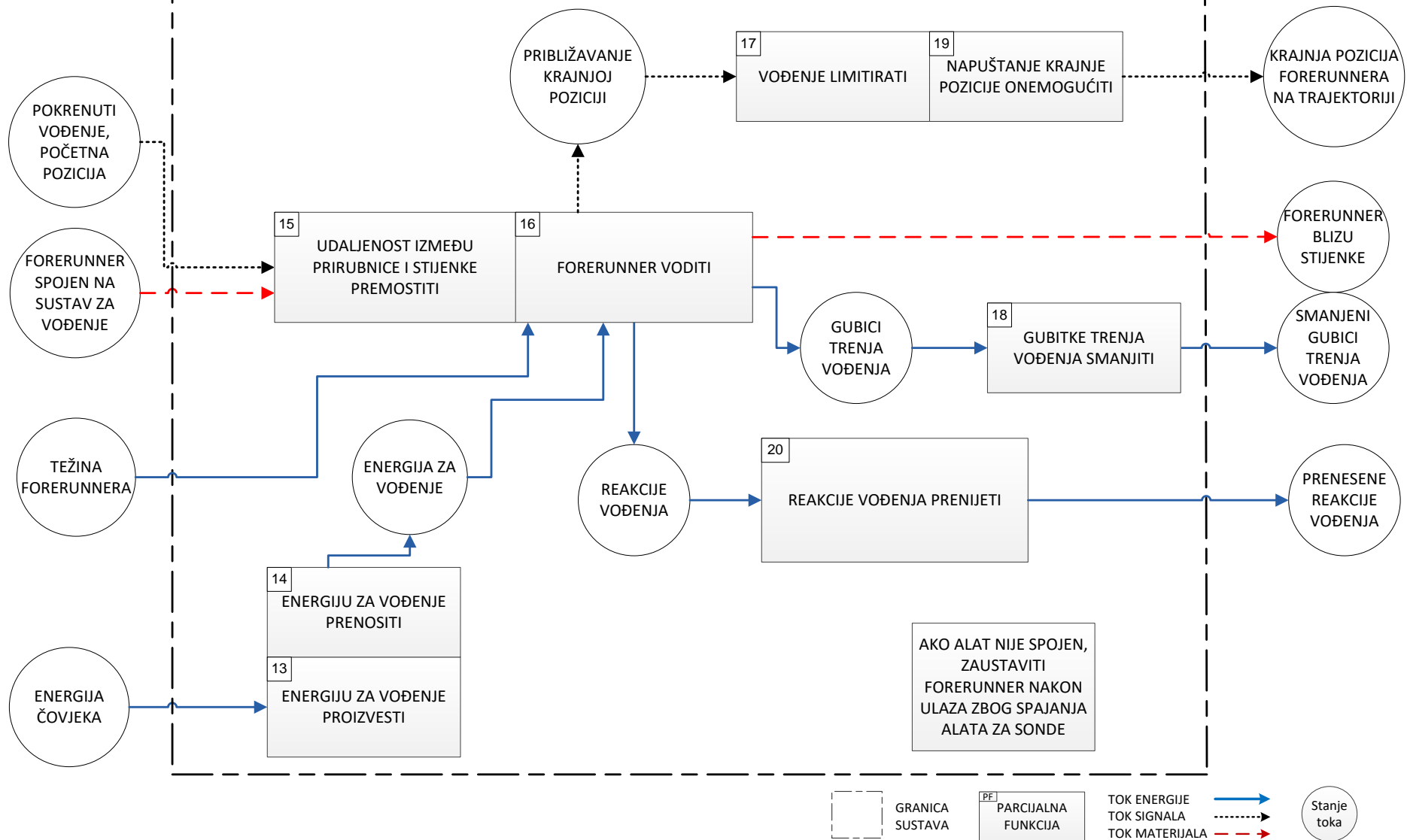
FORERUNNER NA STIJENKU DOVESTI



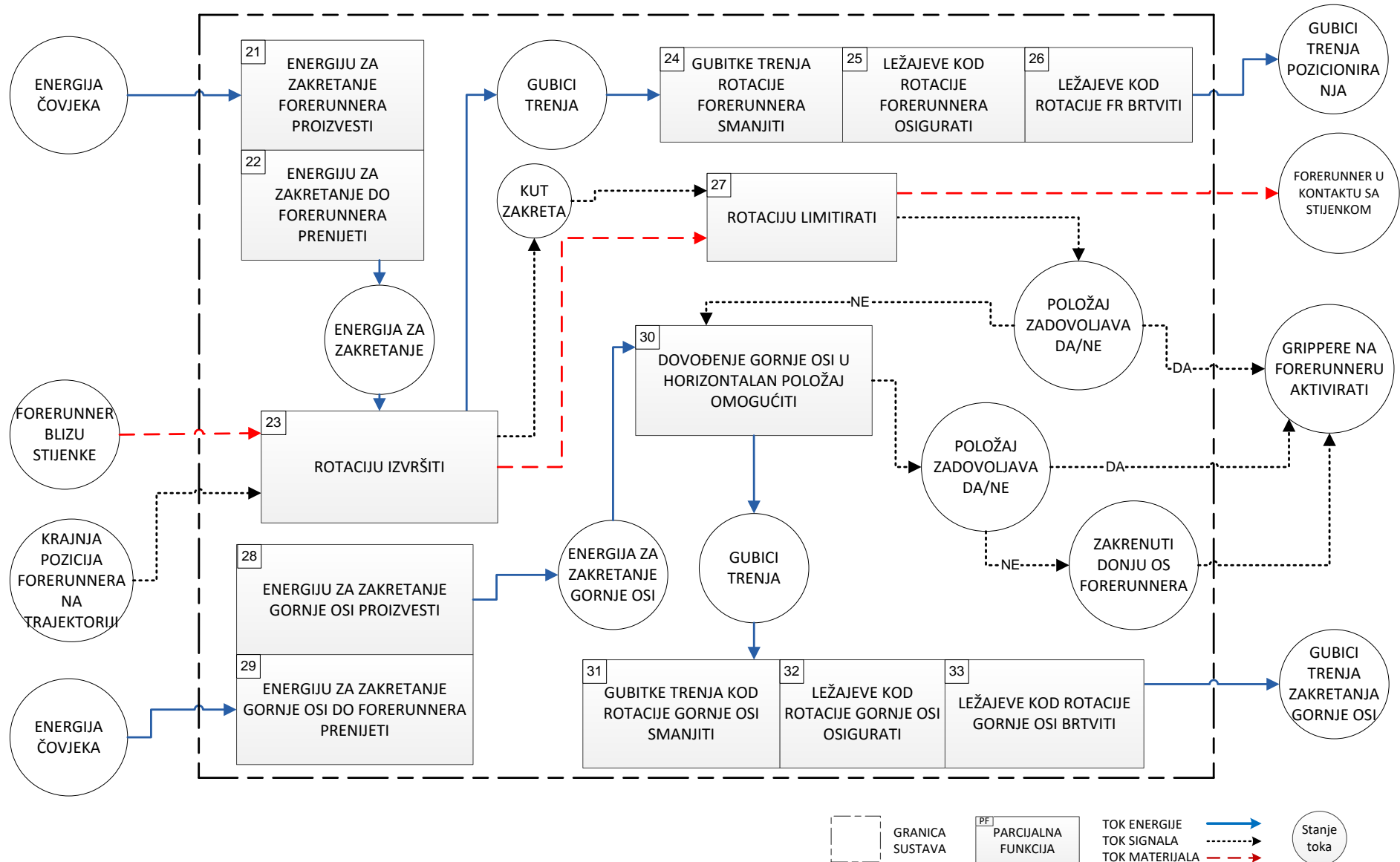
P1 - FORERUNNER PRIHVATITI



P2 - FORERUNNER VODITI



P3 - FORERUNNER POZICIONIRATI



P4 - REAKCIJE NA SG PRENIJETI

